



*Εργαστήριο Υγιεινής και  
Προστασίας Περιβάλλοντος*

Τμήμα Ιατρικής  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
Συγκρότημα Προκλινικών Εργαστηρίων  
Κτίριο 5, Πανεπιστημιούπολη, Δραγιάνα  
68100 Αλεξανδρούπολη

Αίθουσα Γ.Α. Σταθόπουλου  
Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών  
στην Υγιεινή και Ασφάλεια της Εργασίας  
Ισόγειο Κτιρίου Βιβλιοθήκης Ιατρικής  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
Πανεπιστημιούπολη, Δραγιάνα,  
68 100 Αλεξανδρούπολη

*Μέλος Δ.Ε.Π.:*

**Θ.Κ. Κωνσταντινίδης**  
Ειδικός Ιατρός Εργασίας  
Επίκουρος Καθηγητής Υγιεινής  
Διευθυντής Εργαστηρίου  
Τηλ. (+φάξ): 2551030521  
tconstan@med.duth.gr

*Μέλος Ε.Τ.Ε.Π.:*

**Α. Τσελεμπόνης**  
atslemp@med.duth.gr  
Τηλ. (+φάξ): 2551030546



*Laboratory of Hygiene and  
Environmental Protection*

Medical School  
Democritus University of Thrace  
Campus (Dragana) Building 5  
GR-68100 Alexandroupolis  
GREECE

**G.A. Stathopoulos** Hall  
Library of Medical School  
Program of Postgraduate Studies  
Health and Safety in Workplaces  
Democritus University of Thrace  
Campus (Dragana)  
GR-68100 Alexandroupolis  
GREECE

*Faculty member:*

Ass. Prof. **T.C. Constantinidis** M.D.  
Occupational and Environmental Specialist  
Director of Laboratory  
Tel. (+fax): +30255 1030521  
tconstan@med.duth.gr

*Technician:*

**A. Tselebonis**  
Tel. (+fax): +30255 1030546  
atslemp@med.duth.gr



## ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΚΙΡΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΜΕ ΤΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ

*Χρήστος Νικολαΐδης και Θ.Κ. Κωνσταντινίδης*



Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση  
Ροδόπης - Έβρου

Εκθεση του Εργαστηρίου Υγιεινής και Προστασίας Περιβάλλοντος για τα μεταλλεία Κίρκης στα πλαίσια της Προγραμματικής Σύμβασης μεταξύ Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Ροδόπης - Έβρου, Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης και Γενικού Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Αλεξανδρούπολης (ΔΠΘ - ΝΑΡΕ - ΓΠΝΑ)

Αλεξανδρούπολη, 2010

## Πρόλογος

Στο παρόν πόνημα παρουσιάζεται η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης στην περιοχή της Κίρκης (Αλεξανδρούπολη, Ν. Έβρου) από το εγκαταλειμμένο μεταλλείο μολύβδου-ψευδαργύρου και γίνεται εκτίμηση της επικινδυνότητας για τη δημόσια υγεία. Η μελέτη που παρουσιάζεται εδώ, πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Υγιεινής και Προστασίας Περιβάλλοντος του Τμήματος Ιατρικής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης και αποτελεί μέρος της τελικής έκθεσης που είναι παραδοτέο προς τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Ροδόπης - Έβρου. Από τη Γενική Συνέλευση του Τμήματος Ιατρικής ορίσθηκε ο κ. Θ.Κ. Κωνσταντινίδης, Διευθυντής του Εργαστηρίου Υγιεινής και Προστασίας Περιβάλλοντος του Τμήματος Ιατρικής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, ως εκπρόσωπος του Τμήματος Ιατρικής Δ.Π.Θ. στην Επιτροπή Παρακολούθησης της Προγραμματικής Σύμβασης μεταξύ Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Ροδόπης - Έβρου, Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης και Γενικού Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Αλεξανδρούπολης (Δ.Π.Θ. - Ν.Α.Ρ.Ε. - Γ.Π.Ν.Α.) για συνεργασία σε θέματα Υγείας, Περιβαλλοντικής Ιατρικής και Τοπικής Αυτοδιοίκησης.

**Γεώργιος Ι. Μηνόπουλος**

Ομότιμος Καθηγητής Χειρουργικής  
Πρόεδρος Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης  
Ροδόπης - Έβρου

**A. Συνοπτική έκθεση της μελέτης επιπτώσεων  
από τα μεταλλεία Κίρκης  
Αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης  
και Κίνδυνοι σχετικοί με τη Δημόσια Υγεία**

***Εισαγωγή: Άνθρωπος, ανάπτυξη, περιβάλλον***

Η προστασία της δημόσιας υγείας είναι αλληλένδετα συνυφασμένη με την προστασία του περιβάλλοντος. Τόσο το ανθρωπογενές, όσο και το φυσικό περιβάλλον αποτελούν πηγή δημιουργίας και παράγοντα εξέλιξης του πολιτισμού. Παρόλα αυτά, ο τρόπος διαχείρισης του φυσικού κεφαλαίου από τον άνθρωπο τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργήσει προβλήματα που οφείλονται στη μη-αιμοφορική εκμετάλλευση των πλουτοπαραγωγικών πηγών (π.χ. ενέργεια, υδάτινα αποθέματα, χρήσεις γης κτλ) με αποτέλεσμα την υποβάθμιση του περιβάλλοντος αλλά και της ποιότητας ζωής γενικότερα.

Η άνοδος του τεχνολογικού πολιτισμού σηματοδότησε την αρχή μιας νέας εποχής όπου το κοινωνικοπολιτικό και οικονομικό γίνεσθαι διαμορφώθηκαν εν πολλοίς από την ανάγκη του ανθρώπου για παραγωγή όλο και περισσότερο υλικών αγαθών. Η ανάγκη αυτή ενισχύθηκε τόσο από την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού όσο και από ένα δυναμικό μοντέλο ανάπτυξης που οδήγησε σταδιακά στο άνοιγμα των διεθνών αγορών και την παγκοσμιοποίηση.

Η ανάπτυξη στην ελληνική περιφέρεια αποτέλεσε αναμφισβήτητα δύναμη προόδου, προσφέροντας θέσεις εργασίας και ενισχύοντας την άνοδο του βιοτικού επιπέδου. Παρόλα αυτά, η εντατικοποίηση της βιομηχανικής παραγωγής έγινε πολλές φορές εις βάρος του φυσικού περιβάλλοντος με αποτέλεσμα τη διάβρωση των εδαφών, εκχερσώσεις και αποψιλώσεις δασών και βιοτόπων, ρύπανση του αέρα και του υδροφόρου ορίζοντα κτλ.

Το μεταλλείο «Άγιος Φίλιππος» στην περιοχή της Κίρκης, Νομού Έβρου, αποτελεί ένα παράδειγμα επένδυσης που χαρακτηρίζει τον άναρχο τρόπο αναπτυξιακού σχεδιασμού στον εθνικό χώρο τα τελευταία 30 χρόνια. Η εντατική εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και η έλλειψη περιβαλλοντικής ευθύνης, οδήγησαν στην εγκατάλειψη και τη φθορά, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της περιοχής που έχει πληγεί από τη ρύπανση.

### **Η περίπτωση του μεταλλείου Κίρκης - ιστορικά στοιχεία και σημερινή κατάσταση**

Η παρουσία ορυκτού πλούτου στη Θράκη ήταν γνωστή από την αρχαιότητα. Το γεγονός αυτό μαρτυρούν και οι αναφορές στην "σκαπτή ύλη" του Θουκυδίδη. Σήμερα είναι γνωστό ότι στην οροσειρά της Ροδόπης, από την περιοχή της Δράμας μέχρι το Μεγάλο Δέρειο Έβρου, υπάρχουν ανεκμετάλλευτα κοιτάσματα (λιγνίτη, χρυσού και ουρανίου). Η πρώτη επιστημονική χαρτογράφηση της περιοχής έγινε από Αγγλικές εταιρίες γύρω στο 1925 οπότε και σημειώθηκε η ανάπτυξη μιας πρώιμης μεταλλευτικής δραστηριότητας. Το μεταλλείο μολύβδου-ψευδαργύρου στην περιοχή της Κίρκης (Ν. Έβρου) λειτούργησε κατά τα έτη 1974-1980 και 1990-1997 υπό τη διεύθυνση ενός ιδιώτη ονόματι *Κυρριάδη*, παρόλα αυτά η βασική υποδομή όπως οι κτιριακές εγκαταστάσεις, ο εναέριος διάδρομος και διάφορα μηχανήματα επεξεργασίας και μεταφοράς μεταλλεύματος προϋπήρχαν από τον καιρό της γερμανικής κατοχής.

Οι Γερμανοί στα χρόνια της κατοχής επιδόθηκαν με σχολαστικότητα στο έργο κατασκευής του μεταλλείου, μα μόλις ολοκληρώθηκε η βιομηχανική εγκατάσταση τελείωσε ο πόλεμος και ο χώρος εγκαταλείφτηκε. Έκτοτε το ελληνικό δημόσιο έδειξε κάποιο ενδιαφέρον με μικροεπεμβάσεις συντήρησης και φύλαξης, άλλοτε με την παρουσία κάποιων εταιριών και άλλοτε του ίδιου, ώσπου τα τελευταία χρόνια η εταιρεία *Κυρριάδη* χρησιμοποιώντας ανορθόδοξες μεθόδους συνέλεξε τα επιφανειακά μεταλλεύματα με μπουλντόζες, καταστρέφοντας τις σήραγγες και τον μηχανισμό εξόρυξης που είχε επιστημονικά σχεδιασθεί. Από τη δραστηριότητα αυτή επλήγει ο περιβάλλον χώρος και καταστράφηκε η βασική υποδομή του μεταλλείου. Η φυσική φθορά στο χρόνο και τα καιρικά φαινόμενα αποτελείωσαν ότι είχε απομείνει από το υλικοτεχνικό μέρος της εγκατάστασης που έχει πια ερειπωθεί.

Αυτοψία διαφόρων αρχών (ΙΓΜΕ, Νομαρχίας, Πανεπιστήμιο Αμβούργου) στην περιοχή περί το 2001, ανέδειξε το μέγεθος της περιβαλλοντικής καταστροφής. Το τοπίο συνθέτουν μεταλλευτικά τέλματα στις κατεστραμμένες λεκάνες εναπόθεσης και τους χώρους του

εργοστασίου, υπολείμματα μεταλλευτικών συμπυκνωμάτων, σωροί ακατέργαστου μεταλλεύματος και πλήθος κατεστραμμένων και αποσαθρωμένων βαρελιών χημικών αντιδραστηρίων μεταξύ άλλων και κυανιούχου νατρίου. Τα υλικά αυτά (πλην ορισμένων βαρελιών κυανιούχου νατρίου που απομακρύνθηκαν με πρωτοβουλία της Νομαρχίας Έβρου) παραμένουν εκτεθειμένα και αποτελούν μια διαρκή πηγή διαρροής τοξικών ουσιών στο περιβάλλον.

Το 2005 το ΙΓΜΕ ανέλαβε ένα επιδοτούμενο έργο καταγραφής της ρύπανσης και πιλοτικής εφαρμογής τεχνικών απορρύπανσης, προϋπολογισμού 1.971.901€. Στους σκοπούς του προγράμματος συμπεριλαμβανόταν η πιλοτική εφαρμογή μεθόδων εκτίμησης του περιβαλλοντικού κινδύνου, η πειραματική λειτουργία συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας των νερών, η μοντελοποίηση της ρύπανσης, καθώς και η διερεύνηση οικονομικά εφικτών τρόπων απορρύπανσης. Η πρώτη επιστημονική αποτίμηση της ρύπανσης στην περιοχή, παρόλα αυτά, έγινε από τον Δρ. *Κυριάκο Αρίκα* του Πανεπιστημίου Αμβούργου και τους συνεργάτες του (Αrikas et al. 2001). Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής είναι σε συμφωνία με τα ευρήματα της παρούσας μελέτης που παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

### **Αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης**

Σύμφωνα με μαρτυρίες κατά την πρώτη περίοδο των εργασιών (1975-1980) ο πολτός των μεταλλοφόρων αποβλήτων του εργοστασίου με τα συνοδευτικά χημικά αντιδραστήρια μεταφερόταν σε ένα επίπεδο χώρο περίπου 200 μέτρα νοτιοανατολικά του εργοστασίου, δίπλα στον ποταμό Ειρήνη. Στη δεύτερη περίοδο δραστηριοποίησης του συγκροτήματος *Κυρριάδη* (1990-1996) τα απόβλητα διοχετεύονταν σε μικρές, πρόχειρα κατασκευασμένες λεκάνες διαμέτρου περίπου 50-100 μέτρων. Συνολικά στον περιβάλλοντα χώρο υπάρχουν 6 τέτοιες δεξαμενές τελμάτων. Το υπέδαφος στις εν λόγω λεκάνες αποτελείται από χαλαρή αδροκοκκώδη ψαμμιτική συνδετική ύλη, γεγονός που καθιστά αμφίβολη τη στεγανότητα των τοιχωμάτων και του πυθμένα.

Κατά συνέπεια η απορροή τοξικών ουσιών προς τον υδάτινο αποδέκτη είναι πολύ πιθανή.

Η ορυκτολογική σύσταση του κοιτάσματος των μεταλλείων Κίρκης είναι στη φύση της θειούχα και πολυμεταλλική. Εκτός από τα κύρια μεταλλικά ορυκτά, σφαλερίτη (ZnS), βουρτσίτη (ZnS) και γαληνίτη (PbS) που χρησιμοποιούνταν για την εξαγωγή μολύβδου και ψευδαργύρου, στην περιοχή συναντώνται και τα ορυκτά κερκίτης ( $Pb_{10}Bi_3As_3S_{19}$ ), ιορδανίτης ( $Pb_{14}As_6S_{23}$ ), τενναντίτης ( $Cu_{12}As_4S_{13}$ ) και σελιγμανίτης ( $CuPbAsS_3$ ) που αποτελούν πηγή του τοξικού στοιχείου αρσενικού. Το δεύτερο πιο τοξικό στοιχείο είναι το κάδμιο, το οποίο συμμετέχει στο χημισμό διάφορων ορυκτών τύπου σφαλερίτη και βουρτσίτη. Κατά την κατεργασία και εμπλουτισμό του μεταλλεύματος τα στοιχεία αυτά συσσωρεύονταν και αθροίζονταν στις περιοχές των τελμάτων. Η εναπόθεση των μεταλλευτικών αποβλήτων, λόγω της θειούχας σύστασης των μεταλλευμάτων οδήγησε στο σχηματισμό θειικών αλάτων (π.χ. αλοτριχίτη-διετριχίτη, ροζενίτη-μπούλειτη) που επίσης δεσμεύουν μεγάλες ποσότητες βαρέων μετάλλων.

Το pH του εδάφους στις περιοχές των τελμάτων είναι ισχυρά όξινο ( $pH=3.0-4.6$ ), ενώ και στο επιφανειακό νερό, ιδιαίτερα στις περιοχές που βρίσκονται ακριβώς κάτω από τις λεκάνες απορροής, η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 5.64-6.24. Παράλληλα, στα δείγματα που ελέγχθησαν η μέση τιμή των θειικών ιόντων ήταν 544 mg/L, που θεωρείται υψηλή για ελεύθερα από τη ρύπανση επιφανειακά νερά και πιθανότατα επηρεάζει την οξύτητα των υδάτων. Οι φυσικοχημικές αυτές διεργασίες εντείνουν τη διαλυτοποίηση των μετάλλων και ευνοούν την «κινητοποίηση» τους από τις ορυκτές μάζες προς το περιβάλλον. Κατά αντιστοιχία οι υψηλότερες τιμές μαγγανίου, ψευδαργύρου και καδμίου (2.000, 3.157 και 55  $\mu g/L$  αντίστοιχα) μετρήθηκαν σε δείγματα από τον ποταμό Ειρήνη που βρισκόταν σε εγγύτητα με τις λεκάνες των τελμάτων.

Υψηλότερες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων μετρήθηκαν στα ιζήματα του ποταμού, γεγονός που υποδηλώνει ότι η μεταφορά των τοξικών στοιχείων στον υδάτινο αποδέκτη έχει ιστορικό πολλών ετών. Συγκεκριμένα, σε αναλύσεις δειγμάτων ιζήματος μετρήθηκαν συγκεντρώσεις Mn (έως 5.180 mg/kg), Zn (έως 3.986 mg/kg), Pb (έως

300 mg/kg), As (έως 24,56 mg/kg) και Cd (έως 34,72 mg/kg) που σε καμιά περίπτωση δεν σχετίζονται με φυσική παρουσία, αλλά μάλλον βέβαια αποδίδονται στη ρύπανση από τις διάφορες ζώνες του μεταλλείου (βλέπε Παράρτημα I).

Παράλληλα, συλλέχτηκαν δείγματα από τις λεκάνες εναπόθεσης των τελμάτων, το υπέδαφος και τις γεωργικές καλλιέργειες που βρίσκονται κοντά στο παλιό μεταλλείο. Με βάση τη μέση τιμή των βαρέων μετάλλων στα φυσικά εδάφη (κατά Bowen 1979) υπολογίστηκε ο δείκτης ρύπανσης της περιοχής σε ακτίνα 6 km. Στα δείγματα υπεδάφους που προερχόταν από τις δεξαμενές τελμάτων και τις ζώνες όξινης απορροής, ο δείκτης ρύπανσης ήταν έως και 357 φορές μεγαλύτερος του φυσιολογικού για τον μόλυβδο, 41.4 φορές για το αρσενικό, 61.6 φορές για το κάδμιο και 47.7 φορές για τον ψευδάργυρο. Σε ορισμένα δείγματα μάλιστα, που προερχόταν από μάζες συμπυκνωμάτων μεταλλεύματος, ο δείκτης ρύπανσης ήταν αρκετές χιλιάδες φορές μεγαλύτερος του φυσιολογικού (βλέπε Παράρτημα I).

Η διασπορά των τοξικών στοιχείων στις παρακείμενες καλλιεργήσιμες εκτάσεις είναι μεγάλη και φτάνει σε ακτίνα τουλάχιστον 2 km από την εστία του μεταλλείου. Η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα εδάφη των καλλιεργειών σε σχέση με την απόσταση από το μεταλλείο ήταν σε σειρά κάδμιο>μόλυβδος>ψευδάργυρος>αρσενικό. Οι συγκεντρώσεις του καδμίου μάλιστα ξεπερνούν τα φυσιολογικά όρια κατά 2.7 φορές ακόμα και 6 km μακριά από τις ζώνες εναπόθεσης των τελμάτων, γεγονός που υποδηλώνει δυναμική μεταφορά της ρύπανσης μέσω του αέρα, της σκόνης ή του αρδευτικού συστήματος ποτίσματος των καλλιεργειών.

Σε εδάφη γεωργικών εκτάσεων που απείχαν από 1 έως και 3 km από το μεταλλείο, παρατηρήθηκε ενεργός σπορά σιτηρών την εποχή της δειγματοληψίας (Μάρτιος 2008). Δείγματα των εν λόγω φυτών αναλύθηκαν για να διαπιστωθεί ο βαθμός βιοσυσσώρευσης των βαρέων μετάλλων στην ξηρή μάζα του προϊόντος. Ο δείκτης βιοσυσσώρευσης για τα σιτηρά (*Triticum aestivum*) ήταν πολύ χαμηλός για το κάδμιο και το αρσενικό, οπότε δεν προκύπτει άμεσος κίνδυνος για τη δημόσια υγεία. Παρόλα αυτά, στα εδάφη όπου μετρήθηκαν οι

υψηλότερες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, η σπορά δεν είχε ακόμη ξεκινήσει την εποχή της δειγματοληψίας.

Η μεταφορά τοξικών στοιχείων από το έδαφος μέσω του ριζικού συστήματος στον καρπό του φυτού εξαρτάται τόσο από το είδος της καλλιέργειας, όσο και από τη μέση συγκέντρωση των εν λόγω στοιχείων στο υπέδαφος. Κατά συνέπεια στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις όπου οι συγκεντρώσεις καδμίου, μολύβδου και αρσενικού ξεπερνούν κατά πολλές φορές τις φυσιολογικές τιμές, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση με νέες δειγματοληψίες και αναλύσεις.

Η ύπαρξη υδάτινου αποδέκτη πλησίον του μεταλλείου (Κιρκάλειο ρέμα, ποταμός Ειρήνη) ανάγει τη ρύπανση του μεταλλείου Κίρκης σε μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα. Η πιθανότητα μεταφοράς επικινδυνών ουσιών κατά μήκος ροής του ποταμού είναι μεγάλη. Στη μελέτη που εκπονήθηκε από τον Δρ. Αρίκα και στην παρούσα εργασία αναφέρονται εξαιρετικά υψηλές τιμές βαρέων μετάλλων (όπως As, Pb, Cd κ.α.) στα ιζήματα του ποταμού και στα επιφανειακά νερά που βρίσκονται κάτω από τις λεκάνες απορροής των τελμάτων. Παρόλα αυτά, σε αναλύσεις που έγιναν στο δίκτυο ύδρευσης του τοπικού οικισμού της Κίρκης (πληθυσμός 116, απογραφή 2001) δεν διαπιστώθηκαν υπερβάσεις των ορίων. Βεβαίως δεν υπάρχουν ιστορικά στοιχεία που να αφορούν στην ποιότητα του πόσιμου νερού στην περιοχή, οπότε δεν μπορεί να εκτιμηθεί η αναδρομική έκθεση του πληθυσμού σε αυτά.

#### **Ανάλυση επικινδυνότητας - Αξιολόγηση κινδύνου για τη δημοσία υγεία**

Για την αξιολόγηση του κινδύνου από τη ρύπανση πραγματοποιήθηκε ανάλυση επικινδυνότητας με βάση τις μετρήσεις που έγιναν στα εδάφη, τις γεωργικές καλλιέργειες και τα ύδατα της περιοχής. Από τη στιγμή που οι παραμετρικές τιμές των βαρέων μετάλλων στο πόσιμο νερό ήταν φυσιολογικές, ως πηγή έκθεσης του πληθυσμού χρησιμοποιήθηκε η οδός κατάποσης εδάφους (soil ingestion pathway) που ενδείκνυται για κατοίκους αγροτικών περιοχών (Lee et al.

2005, Kim et al. 2005). Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε η μέση ημερήσια δόση που αφορά την ποσότητα μιας χημικής ουσίας που καταναλώνει ένα άτομο ανά κιλό σωματικού βάρους ανά ημέρα. Στον υπολογισμό της τιμής αυτής λαμβάνονται υπόψη ο ρυθμός πρόσληψης (σε mg/ημέρα), η διάρκεια της έκθεσης (σε χρόνια), η συχνότητα της έκθεσης (ημέρες/έτος) και ο μέσος όρος ζωής του ατόμου (σε χρόνια). Το *πηλίκιο κινδύνου* (hazard quotient) υπολογίστηκε από το λόγο της *μέσης ημερήσιας δόσης* (average daily dose) δια τη *δόση αναφοράς* (reference dose), όπως φαίνεται στο Παράρτημα II.

Κατ' επέκταση, μετρήθηκε ο δείκτης επικινδυνότητας (hazard index) που είναι το άθροισμα των πηλίκων κινδύνου για κάθε στοιχείο ξεχωριστά, αλλά και ο κίνδυνος καρκινογένεσης (cancer risk) για το αρσενικό, αφού είναι το μόνο στοιχείο της έρευνας με αποδεδειγμένη καρκινογόνο δράση. Ο δείκτης επικινδυνότητας και ο κίνδυνος καρκινογένεσης μέσω της οδού κατάποσης του εδάφους για τα βαρέα μέταλλα και το αρσενικό, αντίστοιχα, ήταν μηδενικός για τις αγροτικές καλλιέργειες. Επομένως, από την ανάλυση αυτή προκύπτει ότι δεν υπάρχει άμεσος κίνδυνος έκθεσης στα τοξικά απόβλητα του μεταλλείου για τους αγρότες και τους κατοίκους της περιοχής γενικότερα.

Παρόλα αυτά, χρησιμοποιώντας τις παραπάνω εξισώσεις για την αξιολόγηση του κινδύνου σε ορισμένα δείγματα που προερχόταν από τους χώρους και τις εγκαταστάσεις του μεταλλείου προκύπτουν κάποια σαφώς ανησυχητικά δεδομένα. Τόσο ο αθροιστικός δείκτης επικινδυνότητας για τα βαρέα μέταλλα (κάδμιο, ψευδάργυρο, αρσενικό και μόλυβδος) όσο και ο κίνδυνος καρκινογένεσης από το αρσενικό βρίσκονται σε πολύ υψηλά επίπεδα (βλέπε μέρος Γ) .

Οι εγκαταστάσεις του μεταλλείου, συνεπώς, μπορούν εύκολα να χαρακτηριστούν ως υψηλής επικινδυνότητας. Το γεγονός ότι ο χώρος είναι ανοικτός και επισκέψιμος αποτελεί στοιχείο που συνηγορεί υπέρ της άποψης ότι πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα αποκατάστασης, ενώ προτείνεται η περιφράξη και φύλαξη της κεντρικής μονάδας του εργοστασίου για την αποφυγή ατυχηματικής έκθεσης του πληθυσμού.

## **Συμπεράσματα**

Η αυθαίρετη εναπόθεση των μεταλλευτικών αποβλήτων κατά το έργο εξόρυξης στο μεταλλείο Κίρκης οδήγησε σε μια δυσανάλογη επιβάρυνση της περιοχής με τοξικά απόβλητα και βαρέα μέταλλα (όπως μόλυβδος, κάδμιο, αρσενικό κ.α.). Κατά την κατεργασία και εμπλουτισμό του μεταλλεύματος, τα στοιχεία αυτά συσσωρεύονταν και αθροίζονταν στις περιοχές των τελμάτων. Η σύσταση των θειούχων ορυκτών αλάτων και οι διάφορες φυσικοχημικές διεργασίες (διάβρωση, οξειδωση κτλ) εντείνουν την όξινη απορροή βαρέων μετάλλων προς τον υδάτινο αποδέκτη.

Στα ιζήματα κατά μήκος του ποταμού και στα δείγματα επιφανειακού νερού εμφανίστηκαν ασυνήθιστα υψηλές συγκεντρώσεις Zn, Mn, Cd κ.α. Αξιοσημείωτο είναι ότι στην εγγύτητα του μεταλλείου υπάρχουν αγροτικές καλλιέργειες που πιθανώς αρδεύονται από τα νερά των προαναφερθέντων υδάτινων συστημάτων, ενώ στην περιοχή ασκείται σημαντική κτηνοτροφική δραστηριότητα που περιλαμβάνει ελεύθερη βόσκηση αμνοεριφίων και πότισμα των, εν λόγω, ζώων στα νερά του Κιρκάλιου ρέματος και του ποταμού Ειρήνης.

Παρόλα αυτά, από την ανάλυση επικινδυνότητας που πραγματοποιήθηκε στο παρόν πόνημα δεν προκύπτει άμεσος κίνδυνος για τη δημόσια υγεία από τη ρύπανση στην περιοχή της Κίρκης. Δυστυχώς, δεν είναι δυνατόν να αξιολογηθεί η παρελθούσα έκθεση του πληθυσμού λόγω απουσίας αρχείου καταγραφής ποιοτικών παραμέτρων στο πόσιμο νερό, αλλά και τοξικολογικών μετρήσεων στους ντόπιους πληθυσμούς.

Όσον αφορά στην βιομηχανική μονάδα αυτή καθεαυτή, πρέπει να σημειωθεί ότι τα δείγματα που προερχόταν από τους εσωτερικούς χώρους της εγκατάστασης (συμπυκνώματα, δεξαμενές τελμάτων και υπέδαφος) ήταν τόσο επιβαρυνμένα στις συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων (μόλυβδου, αρσενικού, καδμίου, ψευδαργύρου κτλ) που σαφέστατα αποτελούν απειλή για τη δημόσια υγεία. Συνεπώς, οι χώροι στην εγγύτητα του μεταλλείου πρέπει να σφραγιστούν και η πολιτεία να προβεί άμεσα σε αποκατάσταση της περιοχής.

### **Φυσικό περιβάλλον - οικοσύστημα Κίρκης**

Το δάσος της Κίρκης, πλούσιο σε πεύκα και δρύες, αποτελεί ένα πανέμορφο βιότοπο με αξιοσημείωτη χλωρίδα και πανίδα. Η περιοχή ανήκει στην παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης, η οποία εμφανίζεται με την υποζώνη *Ostryo-Carpinion*. Το οικοσύστημα της περιοχής χαρακτηρίζεται από πολυάριθμες απόκρημνες πλαγιές και φαράγγια όπου φωλιάζουν, σπάνια αρπακτικά πουλιά όπως ο χρυσαετός (*Aquila chrysaetos*), το όρνιο (*Gyps fulvus*), ο μπούφος (*Bubo bubo*), ο μαυροπελαργός (*Ciconia nigra*) κ.ά. Στην περιοχή συναντώνται πολλές ορθοπλαγιές και βραχώδεις εκτάσεις, πολλές από τις οποίες είναι εξαιρετικά δύσκολα προσπελάσιμες τον άνθρωπο και αποτελούν φυσικό καταφύγιο για πολλά είδη θηλαστικών, όπως το ζαρκάδι (*Capreolus capreolus*) και ο λύκος (*Canis lupus*). Σε πολλές περιοχές η φυσική βλάστηση έχει αντικατασταθεί από αναδασώσεις τραχείας, μαύρης και θαλάσσιας πεύκης.

Ως χώρος αναψυχής και εναλλακτικού τουρισμού, η περιοχή της Κίρκης διαθέτει αξιόλογες φυσικές τοποθεσίες και προσφέρεται για κοινωνικές δραστηριότητες και εκδηλώσεις. Κι όμως μέσα σ' αυτή τη συναρπαστική φύση έγιναν παρεμβάσεις του φυσικού τοπίου για να καταστεί δυνατή η επεξεργασία του ορυκτού πλούτου (βλέπε οπτικό υλικό, CD).

### **Δειγματοληψία και αναλύσεις δειγμάτων**

Δείγματα πόσιμου και επιφανειακού νερού, εδάφους και ιζημάτων από την περιοχή του μεταλλείου Κίρκης συλλέχθηκαν κατά την περίοδο Φεβρουάριος 2007 - Μάρτιος 2008. Όλες οι αναλύσεις των βαρέων μετάλλων πραγματοποιήθηκαν στο *Εργαστήριο Υγιεινής και Προστασίας Περιβάλλοντος του Τμήματος Ιατρικής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης*. Οι αναλύσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων (π.χ. pH, αγωγιμότητας κτλ) έγιναν στον τόπο δειγματοληψίας. Οι αναλύσεις ιόντων (π.χ. θεικών, χλωριούχων, κυανιούχων) πραγματοποιήθηκαν με φασματοσκοπική μέθοδο κατά τα διεθνή

πρότυπα. Οι αναλύσεις των στοιχείων Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd έγιναν με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης (Perkin Elmer, AAS) ενώ για την ανάλυση των στοιχείων Hg και As χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των υδριδίων.

### **Υλικά και εργαστηριακές μέθοδοι**

Σε όλα τα δείγματα νερού προστέθηκε καθαρό νιτρικό οξύ 65% σε αναλογία 1:50 και έγινε αποθήκευση στους 4°C μέχρι την ημέρα της ανάλυσης. Για την ανάλυση των στερεών δειγμάτων (εδάφους, ιζημάτων) ακολουθήθηκε η διαδικασία της όξινης πέψης. Κατά την επεξεργασία του δείγματος, 1 g ομογενοποιημένου δείγματος μεταφέρθηκε σε κωνική φιάλη των 100 ml και προστέθηκαν 20 ml πυκνού HNO<sub>3</sub>. Το μίγμα αφέθηκε να αντιδράσει για ένα 12ωρο και κατόπιν προστέθηκαν 40 ml πυκνού HCl. Η κωνική φιάλη τοποθετήθηκε σε ατμόλουτρο έως ότου διαλυτοποιηθεί πλήρως το δείγμα και στη συνέχεια προστέθηκαν 20 ml απεσταγμένου νερού. Κατόπιν, το διάλυμα διηθήθηκε μέσα από κατάλληλο ηθμό ο οποίος είχε προηγουμένως κατεργασθεί με HCl. Τελικά το διήθημα συγκεντρώθηκε σε φιάλη των 100 ml η οποία συμπληρώθηκε με αποσταγμένο νερό. Ακολούθησε ανάλυση των μετάλλων με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης.

### **Αποτελέσματα και συζήτηση**

Στα δείγματα υπεδάφους οι υψηλότερες τιμές Zn, Pb, Cd και As που μετρήθηκαν ήταν 4,290 mg/kg, 12,500 mg/kg, 32.9 mg/kg και 248.2 mg/kg αντίστοιχα (Τα αποτελέσματα όλων των αναλύσεων δίνονται αναλυτικά στο παράρτημα Ι). Ο δείκτης ρύπανσης για τα δείγματα αυτά ήταν 47.7, 357, 94 και 41.4 φορές υψηλότερος του φυσιολογικού. Ο δείκτης ρύπανσης της περιοχής (pollution index) υπολογίστηκε από το κλάσμα της μετρούμενης τιμής κάθε στοιχείου προς τη μέση τιμή αυτού κατά τα διεθνή πρότυπα Bowen et al (1979). Επομένως, στα δείγματα

υπεδάφους η μεγαλύτερη ρύπανση καταγράφηκε για τα στοιχεία Pb και Cd (ή σε σειρά: Pb>Cd>Zn>As).

Στα ιζήματα του ποταμού οι τιμές Mn, Zn, Pb, Cd και As ήταν αντίστοιχα 5,180 mg/kg, 3,986 mg/kg, 300 mg/kg, 34.7 mg/kg, και 24.6 mg/kg. Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγήσει και τις ασυνήθιστα υψηλές τιμές Mn και Zn στα επιφανειακά νερά του ποταμού Ειρήνης και του Κιρκάλειου ρέματος. Στα ιζήματα παρατηρήθηκε υψηλότερη συσσώρευση Mn από ότι στα δείγματα εδάφους. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τις φυσικοχημικές διεργασίες οξείδωσης και διάβρωσης των θειούχων ορυκτών με το νερό της βροχής και την όξινη απορροή των μετάλλων στο παρακείμενο υδρολογικό σύστημα. Εξάλλου, οι τιμές του pH στα δείγματα εδάφους και στο επιφανειακό νερό ήταν αρκετά χαμηλές (3.0-4.6 και 5.64-6.24, αντίστοιχα). Παράλληλα, στα δείγματα που ελέγχθησαν η μέση τιμή των θειικών ιόντων ήταν ιδιαίτερα υψηλή (544 mg/L) λόγω της παρουσίας θειούχων πετρωμάτων, γεγονός που έμμεσα επηρεάζει και την οξύτητα των υδάτων.

Στα δείγματα γεωργικών καλλιεργειών η συσσώρευση βαρέων μετάλλων ήταν σε σειρά Cd>Pb>Zn>As. Ο δείκτης ρύπανσης για τα στοιχεία αυτά ήταν κατά αντιστοιχία 16.7, 6.25, 5.3 και 2.4 για τις καλλιέργειες που βρίσκονταν σε κοντινή απόσταση από το μεταλλείο και παρέμενε υψηλός για τουλάχιστον 2 km από την εστία της ρύπανσης. Σε καλλιέργειες που απείχαν ως και 6 km από το μεταλλείο, ο δείκτης ρύπανσης για το Cd παρέμενε υψηλός έως και 4 φορές πάνω από το φυσιολογικό. Παρόλα αυτά σε αναλύσεις καλλιεργειών (σιτηρά) δεν διαπιστώθηκε βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων. Ο παράγοντας βιοσυσσώρευσης (bioaccumulation factor) υπολογίστηκε από το λόγο της συγκέντρωσης του στοιχείου στην ξηρή μάζα του φυτού προς τη συγκέντρωσή του στο έδαφος επί τοις εκατό. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει ότι ο κίνδυνος από την κατανάλωση προϊόντων σίτου (*Triticum aestivum*), που καλλιεργείται συστηματικά στην περιοχή, είναι αμελητέος.

Όσον αφορά στα δείγματα νερού, δεν παρουσιάστηκαν παραβάσεις στα όρια του πόσιμου νερού που υδροδοτεί τον οικισμό της Κίρκης (πληθυσμός 116, απογραφή 2001). Σε αναλύσεις δειγμάτων



επιφανειακού νερού από το Κιρκάλειο ρέμα και τον ποταμό Ειρήνης, παρόλα αυτά, καταγράφηκαν υψηλές τιμές κυρίως Mn και Zn και ενίοτε Cd. Κατά την περίοδο της δειγματοληψίας (Φεβρουάριος 2007 - Μάρτιος 2008), οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των στοιχείων Zn, Mn, Cd και Pb ήταν κατά αντιστοιχία 3.157, 2000, 55 και 3.5 µg/L. Σε καμία δειγματοληψία δεν έγινε αντιληπτή η παρουσία αρσενικού που σαφώς αποτελεί καλή ένδειξη. Το γεγονός ότι τα ιζήματα είναι ιδιαίτερα επιβαρυμένα σε μεταλλικά στοιχεία (κυρίως Zn, Mn και Cd) υποδηλώνει ότι η ρύπανση έχει ιστορικό πολλών ετών. Η ελεύθερη βόσκηση αμνοεριφίων στην περιοχή του παλιού μεταλλείου που περιλαμβάνει και πότισμα των εν λόγω ζώων από τα νερά αυτά ενέχει ένα κίνδυνο τοξικότητας που πρέπει να αναλυθεί περαιτέρω.

### **Εισαγωγή - Γενικά**

Τα αποτελέσματα της εγκατάλειψης μιας μεταλλευτικής δραστηριότητας αφορούν τόσο στο άμεσο φυσικό περιβάλλον (π.χ. αλλοίωση του τοπίου, ρύπανση κτλ) όσο και εν δυνάμει στην υγεία των κατοίκων που διαβιούν στις εγγύς περιοχές. Η διασπορά βαρέων μετάλλων και άλλων επικίνδυνων χημικών ουσιών αποτελεί μια διαρκή απειλή για τους πληθυσμούς που εκτίθενται μέσω του πόσιμου νερού ή της διατροφής. Παραδείγματα ρύπανσης από αδρανείς μεταλλευτικές δραστηριότητες έχουν καταγραφεί σε ολόκληρο τον πλανήτη (Del Rio et al. 2002, Kim et al. 2005, Liu et al. 2005, Loreda et al. 2006). Μεταλλεία μόλυβδου-ψευδαργύρου έχουν προκαλέσει ρύπανση του πόσιμου νερού σε περιοχές της Κορέας και της Βολιβίας, όπου καταγράφηκε αξιοσημείωτη έκθεση του πληθυσμού σε αρσενικό και άλλα τοξικά στοιχεία (Li et al. 2006, Miller et al. 2004). Στην Κίνα και την Ταϊλάνδη αναφέρθηκε ρύπανση αγροτικών προϊόντων και καλλιεργειών με μόλυβδο, κάδμιο και ψευδάργυρο, ενώ η έκθεση του πληθυσμού σε αυτά έχει επιβεβαιωθεί και με επιδημιολογικές μελέτες (Yang et al. 2004, Simmons et al. 2005).

Σε μελέτες ασθενών-μαρτύρων στην Πορτογαλία έχει διαπιστωθεί στατιστικά σημαντική συσχέτιση της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο αίμα κατοίκων που διαβιούσαν κοντά σε περιοχές όπου είχε στο παρελθόν αναπτυχθεί μεταλλευτική δραστηριότητα, σε σχέση με μια ομάδα ελέγχου (Pereira et al. 2004, Mayan et al. 2006). Αντίστοιχα στις Φιλιππίνες 12 από τους 43 (27.9%) των κατοίκων μιας περιοχής που εμφάνιζαν υψηλές τιμές υδραργύρου στο αίμα τους, είχαν εργαστεί στο τοπικό μεταλλείο και άρα, πιθανότατα, το γεγονός οφείλεται σε επαγγελματική έκθεση (Maramba et al. 2006).

Η μακροχρόνια πρόσληψη έστω και μικρών δόσεων βαρέων μετάλλων και άλλων τοξικών ενώσεων μπορεί να προκαλέσει σοβαρές και μη αναστρέψιμες βλάβες στον οργανισμό. Τα βαρέα μέταλλα μπορεί να μεταφερθούν σε φυτά και ζώα μέσω της τροφικής αλυσίδας και να καταλήξουν τελικά στον άνθρωπο-καταναλωτή. Η πρόσληψη, μέσω της διατροφής, προϊόντων επιβαρυσμένων με μόλυβδο, κάδμιο,

ψευδάργυρο ή αρσενικό μπορεί να πλήξει τις αποθήκες σιδήρου, βιταμίνης C και άλλων ιχνοστοιχείων του οργανισμού και να οδηγήσει σε αναιμία, καταστολή του ανοσοποιητικού, βλάβες του νεφρικού και νευρικού συστήματος, εμβρυϊκή τοξικότητα και επαγωγή νεοπλασιών (Lopez Alonso et al. 2003, Yang et al. 2004, Li et al. 2006).

### **Ανάλυση επικινδυνότητας**

Η ρύπανση μιας περιοχής προκαλεί γενικότερη υποβάθμιση του περιβάλλοντος και συνιστά απειλή για τη δημόσια υγεία. Η περιβαλλοντική επιδημιολογία και τοξικολογία διερευνά τις σχέσεις μεταξύ περιβάλλοντος και δημόσιας υγείας με αναλύσεις διασποράς χημικών παραγόντων και αξιολόγηση των συνεπειών της έκθεσης του πληθυσμού σε αυτούς (π.χ. οικολογικές μελέτες, αναλύσεις επικινδυνότητας κτλ). Δυστυχώς, η απουσία αρχείου καταγραφής τοξικολογικών περιστατικών, αλλά και η ανυπαρξία δικτύου *καταγραφών καρκίνου* (cancer registry) στην περιοχή της Θράκης δεν επιτρέπει την επιδημιολογική αξιολόγηση του κινδύνου για τους πληθυσμούς αναφοράς. Παρόλα αυτά, με κριτήριο τις περιβαλλοντικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκε ανάλυση επικινδυνότητας (risk assessment) για το μεταλλείο Κίρκης. Η ανάλυση αυτή βασίστηκε στη χρήση καλά χαρακτηρισμένων τοξικολογικών δεικτών (π.χ. δόση αναφοράς και καρκινογένεσης).

Η ανάλυση επικινδυνότητας πραγματοποιείται σε 4 διακριτά στάδια τα οποία περιλαμβάνουν:

- 1) Αναγνώριση του κινδύνου
- 2) Αξιολόγηση έκθεσης του πληθυσμού
- 3) Αξιολόγηση δόσης-αποτελέσματος
- 4) Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας

Η αναγνώριση του κινδύνου πραγματοποιείται με την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης (π.χ. αναλύσεις δειγμάτων νερού,

εδάφους κτλ). Η αξιολόγηση της έκθεσης του πληθυσμού στις εν λόγω τοξικές ενώσεις (π.χ. βαρέα μέταλλα) υπολογίζεται από τη *μέση ημερήσια δόση* (average daily dose) που λαμβάνει υπόψη την ένταση, τη συχνότητα και την περίοδο της έκθεσης (βλέπε παράρτημα II). Η σχέση δόσης-αποτελέσματος (τοξικότητας) εξετάζει τις συνέπειες από την έκθεση του πληθυσμού σε μια συγκεκριμένη ποσότητα ουσίας για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα και προσδίδει στον αιτιολογικό παράγοντα (π.χ. αρσενικό) ένα βαθμό επικινδυνότητας (π.χ. πιθανότητα καρκινογένεσης). Έτσι αναγνωρίζονται οι πιθανές επιπτώσεις της έκθεσης σε ένα τοξικό παράγοντα και καθορίζεται εάν και κατά πόσο αυτός συνιστά απειλή για τη δημόσια υγεία.

Για την αξιολόγηση του κινδύνου από τη ρύπανση πραγματοποιήθηκε ανάλυση επικινδυνότητας με βάση τις μετρήσεις που έγιναν στα εδάφη, τις γεωργικές καλλιέργειες και τα ύδατα της περιοχής. Από τη στιγμή που οι παραμετρικές τιμές των βαρέων μετάλλων στο πόσιμο νερό ήταν φυσιολογικές, ως πηγή έκθεσης του πληθυσμού χρησιμοποιήθηκε η «οδός κατάποσης εδάφους» (soil ingestion pathway) που ενδείκνυται για κατοίκους αγροτικών περιοχών (Lee et al. 2005, Kim et al. 2005).

### **Κίνδυνος καρκινογένεσης από το αρσενικό μέσω της οδού κατάποσης του εδάφους.**

Στον πίνακα που ακολουθεί γίνεται υπολογισμός της μέσης ημερήσιας δόσης (Average Daily Dose - Παράρτημα II) μέσω της οδού κατάποσης εδάφους για το στοιχείο αρσενικό (As).

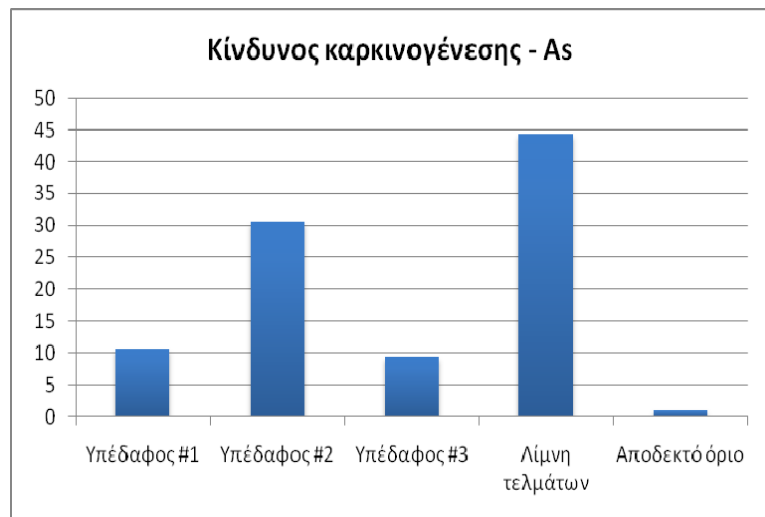
<b>Μέση ημερήσια δόση – οδός κατάποσης εδάφους (στοιχείο: As)</b>				
<b>Δείγμα</b>	<b>Υπέδαφος 1</b>	<b>Υπέδαφος 2</b>	<b>Υπέδαφος 3</b>	<b>Λίμνη τελμάτων</b>
<b>ADD</b>	$71.92 \times 10^{-6}$	$204 \times 10^{-6}$	$62.96 \times 10^{-6}$	$296.3 \times 10^{-6}$

Ο κίνδυνος καρκινογένεσης (cancer risk) υπολογίζεται από το γινόμενο της μέσης ημερήσιας δόσης (average daily dose) επί τον παράγοντα  $x$  (slope factor), που βρίσκεται στη βάση δεδομένων IRIS της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (EPA).

$$\text{Cancer risk} = \text{ADD} \times \text{SF (slope factor)}$$

Η τιμή SF για το αρσενικό είναι  $1.5 \text{ (mg/kg) ημέρα}^{-1}$

Στο γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο κίνδυνος καρκινογένεσης από το αρσενικό μέσω της οδού κατάποσης του εδάφους στην ανάλυση επικινδυνότητας που πραγματοποιήθηκε για δείγματα που προερχόταν από τις εσωτερικές εγκαταστάσεις του μεταλλείου.



Ο μέσος κίνδυνος καρκινογένεσης για τις εγκαταστάσεις του μεταλλείου ήταν  $23.8 \times 10^{-5}$ , δηλαδή περίπου 24 φορές υψηλότερος από το φυσιολογικό. Ο αποδεκτός κίνδυνος καρκινογένεσης (cancer risk) για το αρσενικό είναι  $1 \times 10^{-5}$ . Για τις γεωργικές καλλιέργειες ο

κίνδυνος καρκινογένεσης από το αρσενικό μέσω της οδού κατάποσης εδάφους ήταν  $<1 \times 10^{-5}$  (data not shown).

Για τα υπόλοιπα τοξικά στοιχεία, με μη αποδεδειγμένη καρκινογόνο δράση υπολογίστηκε το *πηλίκιο κινδύνου* (hazard quotient) από το λόγο της μέσης ημερήσιας δόσης (average daily dose) δια τη δόση αναφοράς (reference dose). Η δόση αναφοράς (reference dose) χαρακτηρίζει την ημερήσια δόση ενός στοιχείου που μπορεί να λαμβάνεται από ένα άτομο για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να προκαλούνται βλάβες στην υγεία του.

Η δόση αναφοράς (reference dose) για τα βαρέα μέταλλα είναι:

$$\text{As} = 3 \times 10^{-4}$$

$$\text{Zn} = 3 \times 10^{-1}$$

$$\text{Cd} = 1 \times 10^{-3} \text{ (τρόφιμα)}, 5 \times 10^{-4} \text{ (νερό)}$$

$$\text{Pb} = \text{δεν έχει αποσαφηνιστεί}$$

Ο υπολογισμός της μέσης ημερήσια δόσης για τη μη καρκινογόνο (τοξική) επίπτωση βαρέων μετάλλων μέσω της οδού κατάποσης εδάφους στα δείγματα που συλλέχθηκαν από τις εγκαταστάσεις του μεταλλείου δίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

ADD	ΔΕΙΓΜΑ			Συμπύκνωμα	Λίμνη
	Υπέδαφος 1	Υπέδαφος 2	Υπέδαφος 3		
Pb	$987.9 \times 10^{-6}$	$3950 \times 10^{-6}$	$1382.5 \times 10^{-6}$	$23849 \times 10^{-6}$	$2517.3 \times 10^{-6}$
Cd	$10.4 \times 10^{-6}$	$4.95 \times 10^{-6}$	$6.81 \times 10^{-6}$	$1002.7 \times 10^{-6}$	$55.9 \times 10^{-6}$
Zn	$1355.6 \times 10^{-6}$	$801.4 \times 10^{-6}$	$824.4 \times 10^{-6}$	$106183 \times 10^{-6}$	$7220.3 \times 10^{-6}$
As	$27.65 \times 10^{-6}$	$78.4 \times 10^{-6}$	$24.2 \times 10^{-6}$	$2338.4 \times 10^{-6}$	$114 \times 10^{-6}$

Το *πηλίκιο κινδύνου* για τα στοιχεία As, Zn και Cd υπολογίστηκε από τον τύπο  $HQ = \text{ADD}/\text{Rfd}$ , όπου Rfd=reference dose

HQ	Υπέδαφος 1	Υπέδαφος 2	Υπέδαφος 3	Συμπύκνωμα	Λίμνη
As	9.22 $\times 10^{-2}$	21.13 $\times 10^{-2}$	8.1 $\times 10^{-2}$	779.5 $\times 10^{-2}$	38 $\times 10^{-2}$
Zn	451.87 $\times 10^{-5}$	267.13 $\times 10^{-5}$	274.8 $\times 10^{-5}$	35394 $\times 10^{-5}$	2406.8 $\times 10^{-5}$
Cd	10.4 $\times 10^{-3}$	4.95 $\times 10^{-3}$	6.81 $\times 10^{-3}$	1002.7 $\times 10^{-3}$	55.9 $\times 10^{-3}$
HI	0.11	0.25	0.09	<b>9.15</b>	0.46

Ο δείκτης κινδύνου (hazard index) κατ' επέκταση υπολογίστηκε από άθροισμα των πηλίκων κινδύνου κάθε στοιχείου, δηλαδή

$$HI = \Sigma HQ$$

όπου HI=Hard Index (δείκτης κινδύνου), HQ=Hazard Quotient (πηλίκιο κινδύνου)

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, ο αθροιστικός δείκτης κινδύνου (τοξικότητας) έλαβε τιμές μεγαλύτερες της μονάδας μόνο στο δείγμα που αφορούσε το συμπύκνωμα μεταλλεύματος (HI=9.15).

### Συμπεράσματα

Ο κίνδυνος καρκινογένεσης μέσω της οδού κατάποσης του εδάφους για το αρσενικό και ο γενικός δείκτης κινδύνου των τοξικών στοιχείων ήταν μέσα στα επιτρεπτά όρια για τις αγροτικές καλλιέργειες που βρίσκονται στην εγγύτητα του μεταλλείου.

Επομένως, δεν υπάρχει άμεσος κίνδυνος έκθεσης στα τοξικά απόβλητα του μεταλλείου για τους αγρότες και τους κατοίκους της περιοχής γενικότερα.

Παρόλα αυτά, χρησιμοποιώντας τις παραπάνω εξισώσεις για την αξιολόγηση του κινδύνου σε ορισμένα δείγματα που προερχόταν από τους χώρους και τις εγκαταστάσεις του μεταλλείου, προκύπτουν κάποια σαφώς ανησυχητικά δεδομένα.

Τόσο ο αθροιστικός δείκτης επικινδυνότητας για τα βαρέα μέταλλα (κάδμιο, ψευδάργυρο και αρσενικό) όσο και ο κίνδυνος καρκινογένεσης από το αρσενικό βρίσκονται σε πολύ υψηλά επίπεδα. Κατ' επέκταση, οι εγκαταστάσεις του μεταλλείου αυτές καθαυτές συνιστούν μια υπαρκτή απειλή για τη δημόσια υγεία.

### Προτάσεις

- Ο χώρος του μεταλλείου πρέπει να σφραγιστεί και η πολιτεία να προβεί άμεσα σε αποκατάσταση της περιοχής.
- Η ανάλυση των επιπέδων ρύπανσης της περιοχής να συνεχιστεί με συλλογή δειγμάτων εδάφους, καλλιεργειών και υδροφόρου ορίζοντα.
- Να πραγματοποιηθεί μελέτη μεθόδων αποκατάστασης με διάφορες τεχνικές π.χ. σταθεροποίησης του εδάφους, φυτοαποικοδόμησης κτλ.

Για το σκοπό αυτό ίσως κριθεί αναγκαία η σύναψη συνεργασίας με εταιρία εσωτερικού ή εξωτερικού για απορρύπανση.

Όσον αφορά το μέλλον της περιοχής, το Εργαστήριο Υγιεινής και Προστασίας Περιβάλλοντος του Τμήματος Ιατρικής Δ.Π.Θ. έχει

προτείνει τη δημιουργία θεματικού πάρκου στην περιοχή της Κίρκης. Το οποίο θα περιλαμβάνει:

1. Δημιουργία κέντρου υποδοχής με σκοπό την περιβαλλοντική εκπαίδευση.
2. Τουριστική αξιοποίηση της περιοχής (εναλλακτικός περιβαλλοντικός τουρισμός, αγροτουρισμός).
3. Εκπαίδευση επαγγελματιών γύρω από την Υγιεινή και Ασφάλεια της Εργασίας.

### **Επίλογος**

Η περιβαλλοντική βιωσιμότητα και ευρωστία αποτελούν προϋποθέσεις της δημόσιας υγείας και ανάγονται σε μείζονα κοινωνικά, πολιτικά και ηθικά ζητήματα του 21ου αιώνα. Σήμερα η ανθρωπότητα αντιμετωπίζει σωρεία περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως η μείωση και η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτινων πόρων, η ρύπανση της ατμόσφαιρας και η κλιματική αλλαγή. Ανάπτυξη που εφαρμόζεται χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι περιβαλλοντικοί όροι είναι ανάπτυξη που ζημιώνει τη φύση και τον άνθρωπο. Η οικονομική ενίσχυση με επενδύσεις και κεφάλαια που αποδίδουν οφέλη στο κοινωνικό σύνολο μιας περιοχής, επομένως, θα πρέπει να διέπεται από μια μακρόπνοη και διορατική πολιτική που θα επικεντρώνει στον άνθρωπο, την υγεία και τη βιωσιμότητα.

## ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΚΙΡΚΗΣ

### Αξιολόγηση Περιβαλλοντικής Ρύπανσης

### Κίνδυνοι σχετικοί με τη Δημόσια Υγεία

#### Εισαγωγή

Από την προκαταρκτική έρευνα πεδίου που πραγματοποιήσαμε στο διάστημα από τον Φεβρουάριο 2007 έως τον Μάρτιο 2008 στην περιοχή του παλιού μεταλλείου της περιοχής Κίρκης-Αλεξανδρούπολης, διαπιστώσαμε σημαντική επιβάρυνση της περιοχής με βαρέα μέταλλα στην εγγύτητα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας του μεταλλεύματος και σε ακτίνα τουλάχιστον 2 km περίξ αυτών. Πραγματοποιήσαμε αναλύσεις σε δείγματα υπεδάφους από τους χώρους εναπόθεσης των τελμάτων, δειγμάτων εδάφους από γεωργικές καλλιέργειες και καλλιεργειών σίτου που βρισκόταν σε παραγωγική φάση ανάπτυξης, όπως επίσης και δειγμάτων επιφανειακού νερού από το ρέμα που κυλά πλησίον των εγκαταστάσεων του μεταλλείου και των ιζημάτων αυτού σε ακτίνα 6 km. Στηριζόμενοι στα παραπάνω ευρήματα πραγματοποιήσαμε στοχευμένη ανάλυση επικινδυνότητας με γνώμονα την αξιολόγηση του κινδύνου για τη δημόσια υγεία και τις προοπτικές μελλοντικής αξιοποίησης ή/και περιβαλλοντικής αποκατάστασης της περιοχής. Τα αποτελέσματα παραδόθηκαν στη *Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Ροδόπης - Έβρου* (NAPE) στα πλαίσια της προγραμματικής σύμβασης μεταξύ NAPE – ΓΠΝΑ - ΔΠΘ για θέματα Περιβαλλοντικής Ιατρικής και Τοπικής Αυτοδιοίκησης.

Συνοψίζοντας τον κύριο όγκο των ευρημάτων της προκαταρκτικής εξέτασης και με αναφορά στους κινδύνους για τη Δημόσια Υγεία προκύπτουν τα εξής:

1. Δεν διαπιστώθηκε ρύπανση του πόσιμου νερού με βαρέα μέταλλα στην κοινότητα Κίρκης από τις τρέχουσες πηγές υδροδότησης. Παρόλα αυτά δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο δυναμικής μεταφοράς της ρύπανσης στον υδροφόρο ορίζοντα στο μέλλον, μέσω γεωδυναμικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο επίπεδο του υπεδάφους. Για το λόγο αυτό απαιτείται συνεχής παρακολούθηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του πόσιμου νερού με τη διενέργεια δειγματοληπιών και χημικών αναλύσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
2. Ο παράγοντας βιοσυσώρευσης των βαρέων μετάλλων στα αγροτικά προϊόντα που καλλιεργούνται στην περιοχή - όπως υπολογίστηκε από το πηλίκιο της συγκέντρωσης του στοιχείου στη ξηρή μάζα του φυτού προς την αντίστοιχη συγκέντρωση του υπεδάφους - και ειδικότερα για τις καλλιέργειες σίτου (*Triticum aestivum*) ήταν αμελητέος, γεγονός που σημαίνει ότι δεν υπάρχει άμεσος κίνδυνος για τη δημόσια υγεία από την κατανάλωση των προϊόντων αυτών.

3. Διαπιστώθηκε σημαντική ρύπανση του επιφανειακού νερού, και ειδικότερα του Κίρκαλου ρέματος και του ποταμού Ειρήνης, που ιστορικά αποτέλεσε τον υδάτινο αποδέκτη των μεταλλευτικών αποβλήτων και της όξινης απορροής από τις λεκάνες εναπόθεσης των τελμάτων, με τα στοιχεία Zn, Mn και Cd. Το νερό αυτό χρησιμοποιείται στην άρδευση καλλιεργειών και στην ελεύθερη βόσκηση αμνοεργαίων.
4. Η ιστορική και συνεχιζόμενη -μέσω της όξινης απορροής- εναπόθεση των μεταλλευτικών αποβλήτων στους υδάτινους αποδέκτες αξιολογήθηκε με την ανάλυση των ιζημάτων, όπου διαπιστώθηκε ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση όλων των βαρέων μετάλλων που σχετίζονται με την μεταλλευτική δραστηριότητα και συγκεκριμένα Pb, Cd, As, Zn και Mn.
5. Οι λεκάνες εναπόθεσης των τελμάτων που βρίσκονται γύρω από τις εγκαταστάσεις του μεταλλείου αποτελούν ιδιαίτερα επικίνδυνες εστίες ρύπανσης και λειτουργούν ως δεξαμενές διασποράς βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον. Ο δείκτης ρύπανσης *Pi* στις περιοχές αυτές ήταν δεκάδες ως εκατοντάδες φορές υψηλότερος του φυσιολογικού με κορύφωση τις συγκεντρώσεις As, Pb, Cd και Zn στα μεταλλευτικά συμπυκνώματα.
6. Η ανάλυση επικινδυνότητας μέσω του τοξικολογικού δείκτη «οδούς κατάποσης του εδάφους» (soil ingestion pathway) για τις εγκαταστάσεις του μεταλλείου, έδωσε ένα ιδιαίτερα αυξημένο κίνδυνο καρκινογένεσης για το αρσενικό που ήταν ως και 44 φορές μεγαλύτερος από το αποδεκτό όριο, σύμφωνα με τις οδηγίες της Αμερικάνικης Υπηρεσίας για την Προστασία του Περιβάλλοντος (EPA). Το αθροιστικό πηλίκιο κινδύνου για τα στοιχεία As, Zn και Cd που αφορούσε σε δείγματα συμπυκνωμένου μεταλλεύματος, ήταν αντιστοίχως δεκαπλάσιο από το επιτρεπτό.
7. Συμπερασματικά, για την αποφυγή ατυχηματικής έκθεσης, ο χώρος του μεταλλείου πρέπει να σφραγιστεί και η πολιτεία να προβεί άμεσα σε ενέργειες για την εξυγίανση και περιβαλλοντική αποκατάσταση της περιοχής.

#### Εξέλιξη ερευνητικού πρωτοκόλλου

Κατά την περίοδο Σεπτέμβριος 2008 - Αύγουστος 2009, η συλλογή δειγμάτων από την περιοχή της Κίρκης συνεχίστηκε βάση του ερευνητικού πρωτοκόλλου. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν νέες αναλύσεις σε δείγματα από τις λεκάνες εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων, τις αγροτικές περιοχές γύρω από το μεταλλείο, τα επιφανειακά νερά και τα ιζήματα των υδάτινων αποδεκτών, καθώς επίσης και του πόσιμου νερού της κοινότητας Κίρκης.

#### Υλικά και μέθοδοι

Τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δειγμάτων αναφέρονται αναλυτικά στην προκαταρκτική έκθεση που παραδόθηκε στη NAPE στα πλαίσια της προγραμματικής σύμβασης το Σεπτέμβριο του 2008.

## Αποτελέσματα

I. *Αναλύσεις δειγμάτων από τις δεξαμενές τελμάτων*: Οι δεξαμενές τελμάτων αποτελούν τους ιστορικούς χώρους εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων και τις σημαντικότερες πηγές ρύπανσης με βαρέα μέταλλα, τα οποία ενδέχεται να διαρρεύσουν στο περιβάλλον εξαιτίας του κινδύνου της όξινης απορροής. Στον πίνακα 1 δίνεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση σε σύνολο 5 ανεξάρτητων δειγματολημιών.

Πίνακας 1. Αναλύσεις βαρέων μετάλλων στις δεξαμενές τελμάτων (A1-A6) και μεταλλευτικού συμπυκνώματος (Σ.7).

Λεκάνη τελμάτων	As (mg kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )
A1	85.5 ± 6.8	3,162 ± 161	32.2 ± 1.3	4,243 ± 77.9	151.5 ± 3.2
A2	241.1 ± 14.5	12,567 ± 374	15.4 ± 0.7	2,504 ± 47	604.5 ± 4.1
A3	78.5 ± 8.9	4,371 ± 128	20.5 ± 1.4	2,602 ± 34.6	171 ± 2.7
A4	369.8 ± 12.2	7,937 ± 140	174.1 ± 4.9	22,292 ± 427.8	1,201 ± 9.1
A5	151.9 ± 19.6	4,449 ± 125	75.4 ± 4	14,064 ± 181.2	572.3 ± 7.4
A6	303.3 ± 16.1	8,933 ± 95.2	143.4 ± 6.9	19,463 ± 304	947.8 ± 7.7
Σ.7*	7,176 ± 198	75,438 ± 722	3,152 ± 70	336,578 ± 2570	2,427 ± 26

\* Το δείγμα Σ.7 αφορά σε δείγμα του συμπυκνώματος

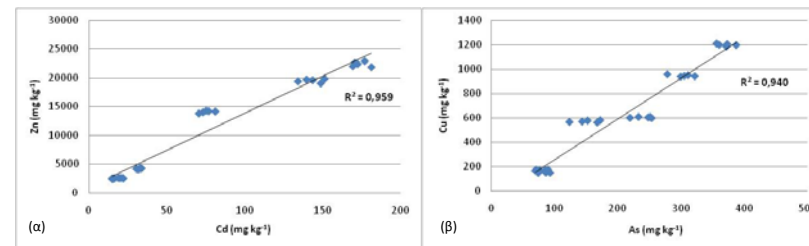
O συσχετισμός των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα παραπάνω δείγματα πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της απλής γραμμική παλινδρόμησης (simple regression analysis) και τα αποτελέσματα συνοψίζονται, παρακάτω (πίνακας 2).

Πίνακας 2. Ανάλυση απλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συσχετισμό της παρουσίας βαρέων μετάλλων στις δεξαμενές τελμάτων.

	Zn	Pb	Cu	As	Cd
Zn	-	0,015	0,767*	0,583	<b>0,959**</b>
Pb	-	-	0,315	0,471	0,027
Cu	-	-	-	<b>0,940***</b>	0,793**
As	-	-	-	-	0,652*
Cd	-	-	-	-	-

\*\*\*επίπεδο σημαντικότητας p<0.001, \*\*επίπεδο σημαντικότητας p<0.01, \*επίπεδο σημαντικότητας p<0.05

Όπως προκύπτει από την ανάλυση αυτή, η συσσώρευση Cd στις δεξαμενές μεταλλευτικών αποβλήτων σχετίζεται σε σημαντικό βαθμό μ' αυτή του Zn ( $R^2=0,959$ ). Το κάδμιο απαντάται συχνά σε ενώσεις ορυκτών τύπου σφαλερίτη και βουρσίτη, που αποτελούν τις βασικότερες πηγές εξαγωγής μεταλλεύματος ψευδαργύρου. Παράλληλα η παρουσία As συσχετίστηκε σε σημαντικό βαθμό με την παρουσία Cu ( $R^2=0,940$ ). Η κοινή προέλευση των δυο αυτών στοιχείων μπορεί να εξηγηθεί από την παρουσία μεταλλευμάτων τύπου τεναντίτη ( $Cu_{12}As_4S_{13}$ ) ή/και σελιγμανίτη ( $CuPbAsS_3$ ). Η απεικόνιση των συσχετισμών αυτών αποδίδεται παραστατικά στο γράφημα 1 (α, β).



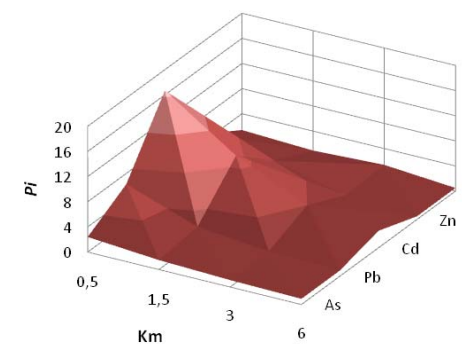
Γράφημα 1. Γραμμική συσχέτιση Zn-Cd (α) και As-Cu (β) στις δεξαμενές μεταλλευτικών αποβλήτων

II. *Χαρτογράφηση της ρύπανσης των αγροτικών περιοχών*: Πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες σε απόσταση ως και 6 km από τις εγκαταστάσεις του μεταλλείου και σε δείγματα που αφορούσαν αγροτικά εδάφη. Στα δείγματα αυτά έγινε μέτρηση του pH και ανάλυση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων (As, Pb, Cd, Zn κτλ). Στον πίνακα 3 δίνεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση σε σύνολο 5 ανεξάρτητων δειγματολημιών ανά τοποθεσία.

Πίνακας 3. Ανάλυση βαρέων μετάλλων στις αγροτικές περιοχές γύρω από το μεταλλείο Κίρκης.

Δείγμα	Απόσταση από το μεταλλείο (km)	pH	As (mg kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )
1	0.5	4.64	14.1 ± 0.3	219 ± 10.9	5.8 ± 6.9	474 ± 18.5	42.7 ± 3.6
2	1.5	5.17	8.9 ± 0.3	80.4 ± 5.3	3.2 ± 0.9	345 ± 9.2	28.3 ± 3
3	3	5.38	6.3 ± 0.4	41.7 ± 3.9	1.4 ± 0.3	103 ± 10.8	42.4 ± 3.2
4	6	5.89	5.4 ± 0.6	31 ± 2.9	0.9 ± 0.2	47.4 ± 5.7	14.9 ± 2.1

Κατόπιν, υπολογίστηκε ο δείκτης ρύπανσης (pollution index, *Pi*) των εν λόγω περιοχών, όπως αναφέρεται στην προκαταρκτική έκθεση. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται σχηματικά στο γράφημα 2 και τον πίνακα 4.



Γράφημα 2. Απεικόνιση του δείκτη ρύπανσης των αγροτικών περιοχών γύρω από το μεταλλείο, σε κλίμακα απόστασης (0,5-6 km).



Πίνακας 4. Δείκτης ρύπανσης (pollution index, Pi) των αγροτικών περιοχών γύρω από το μεταλλείο Κίρκης.

Απόσταση (km)	As	Pb	Cd	Zn	Cu
0.5	2.4	6.3	16.7	5.3	1.4
1.5	1.5	2.3	9.1	3.8	0.9
3	1.1	1.2	4.0	1.1	1.4
6	0.9	0.9	2.7	0.5	0.5

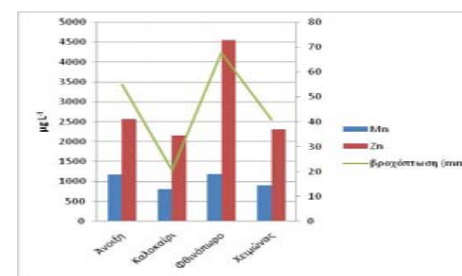
III. Αναλύσεις δειγμάτων επιφανειακού νερού: Δείγματα επιφανειακού νερού από διαφορετικά σημεία του ποταμού Ειρήνης ελέγχθηκαν σε εποχική βάση και σε συνάρτηση με την απόσταση από το ιστορικό σημείο εκροής των μεταλλευτικών αποβλήτων (πίνακας 5).

Πίνακας 5. Αναλύσεις επιφανειακού νερού από τον ποταμό Ειρήνη σε εποχική βάση και σε διάφορα σημεία απορροής, προ (Σ1-Σ2) και μετά του σημείου αποδοχής μεταλλευτικών αποβλήτων (Σ3-Σ5).

Παράμετρος	Εποχή	Σ1	Σ2	Σ3	Σ4	Σ5
pH	Άνοιξη	7.19	7.13	5.57	5.62	5.64
	Καλοκαίρι	7.01	7.12	5.98	6.11	6.23
	Φθινόπωρο	7.22	7.09	5.66	5.69	5.73
	Χειμώνας	6.97	7.01	5.98	6.11	6.23
EC (μS cm <sup>-1</sup> )	Άνοιξη	733	864	1152	1078	903
	Καλοκαίρι	652	701	992	987	892
	Φθινόπωρο	792	799	1230	1120	987
	Χειμώνας	543	513	1002	967	901
Mn (μg L <sup>-1</sup> )	Άνοιξη	13	25	2647	1658	1500
	Καλοκαίρι	23	14	1765	1500	713
	Φθινόπωρο	16	19	2831	1962	1132
	Χειμώνας	21	32	2347	1262	852
Zn (μg L <sup>-1</sup> )	Άνοιξη	33	146	7892	2780	1962
	Καλοκαίρι	86	398	5392	3552	1322
	Φθινόπωρο	453	1045	10478	6390	4390
	Χειμώνας	178	670	6962	2769	956
Pb (μg L <sup>-1</sup> )	Άνοιξη	0.7	0.9	3.2	2.9	2
	Καλοκαίρι	0.9	1.1	2.5	2	2
	Φθινόπωρο	2	2.1	3.5	3.5	3
	Χειμώνας	0.3	1.1	2.4	2.3	2
Cd (μg L <sup>-1</sup> )	Άνοιξη	0.1	0.2	23.8	6.5	3.8
	Καλοκαίρι	0.1	0.1	11.5	12.3	5.8
	Φθινόπωρο	0.5	0.9	35	19.7	13.2
	Χειμώνας	0.1	0.2	14.3	6.4	5.9
As (μg L <sup>-1</sup> )	Άνοιξη	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	0.1	0.1	μ.α. <sup>(*)</sup>
	Καλοκαίρι	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	0.1	0.2	μ.α. <sup>(*)</sup>
	Φθινόπωρο	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	0.3	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	Χειμώνας	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	0.2	0.1	μ.α. <sup>(*)</sup>
Ca (mg L <sup>-1</sup> )	Άνοιξη	88	76	99	124	114
	Καλοκαίρι	104	120	152	149	123
	Φθινόπωρο	136	157	164	158	147
	Χειμώνας	126	142	192	174	169
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	Άνοιξη	256	244	490	467	430
	Καλοκαίρι	198	230	540	522	513
	Φθινόπωρο	280	247	610	590	470
	Χειμώνας	221	231	542	544	534

μ.α.<sup>(\*)</sup> = μη ανιχνεύσιμο

Κατά την εποχική παρακολούθηση των επιφανειακών υδάτων του ποταμού Ειρήνης, που αποτελεί τον φυσικό αποδέκτη της όξινης απορροής των μεταλλευτικών αποβλήτων, διαπιστώθηκε μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων με την μέση τιμή της βροχόπτωσης (mm), η οποία ήταν μικρότερη τους καλοκαιρινούς μήνες και μεγαλύτερη τους φθινοπωρινούς τόσο για το Mn ( $t=11.13$   $p<0.01$ ), όσο και για τον Zn ( $t=5.16$   $p<0.05$ ). Το γεγονός αυτό καθιστά την ανάγκη λήψης άμεσων μέτρων προστασίας του υδάτινου αποδέκτη από τις όξινες απορροές των βαρέων μετάλλων που προέρχονται από τις εγκαταλελειμμένες λεκάνες εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων.



Γράφημα 3. Εποχική διακύμανση των συγκεντρώσεων Mn, Zn (μg L<sup>-1</sup>) στα δείγματα επιφανειακού νερού από τον ποταμό Ειρήνης σε σχέση με τη βροχόπτωση (mm).

IV. Αναλύσεις ιζημάτων κατά μήκος του ποταμού Ειρήνης: Τα ιζήματα του ποταμού αποτελούν σημαντικό δείκτη της ιστορικής ρύπανσης των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων. Οι εναποθέσεις – κατακρημνίσεις των βαρέων μετάλλων στον πυθμένα αποτελούν τον πιο αξιόπιστο τρόπο χαρακτηρισμού της αθροιστικής επίδρασης της ρύπανσης στο πέρασμα του χρόνου. Για την αξιολόγηση αυτή πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες σε ιζηματικές τοποθεσίες κατά μήκος της ροής του ποταμού, τόσο υψηλότερα (Δ1-Δ2), όσο και κατά το εύρος της λεκάνης απορροής των μεταλλευτικών ζωνών (Δ3-Δ5). Στον πίνακα 6 δίνεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση σε σύνολο 5 δειγματοληψιών ανά τοποθεσία.

Πίνακας 6. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα ιζήματα του ποταμού Ειρήνης

Τζήμα	As (mg kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )
Δ-1	8.35 ± 0.3	39.7 ± 2.9	0.7 ± 0.4	101.2 ± 2.6	453 ± 15.9
Δ-2	14.1 ± 1.1	45.8 ± 1.7	1.2 ± 0.3	178.7 ± 13	901 ± 7.3
Δ-3	24.6 ± 1.8	300 ± 15.1	34.7 ± 3.3	3,986 ± 23.8	5,180 ± 14.8
Δ-4	22.6 ± 2	279.2 ± 10.6	26.9 ± 2.3	3,918 ± 85.2	4,054 ± 41.1
Δ-5	18.3 ± 1.3	110.4 ± 16	16.4 ± 1.2	2,750 ± 52.8	2,469 ± 44.4

Από την ανάλυση αυτή, προκύπτει ότι η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα ιζήματα που αποτέλεσαν ιστορικά του αποδέκτες των μεταλλευτικών αποβλήτων (Δ3-Δ5), είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή των αντίστοιχων μη εκτεθειμένων ιζημάτων που βρισκόταν υψηλότερα στο σημείο ροής του ποταμού (Δ1-Δ2).

Παράλληλα προκύπτει μια γραμμική αύξηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων κατά μήκος της ροής του ποταμού, από το σημείο υποδοχής των μεταλλευτικών αποβλήτων και εφεξής, γεγονός που υποδηλώνει τη δυναμική μεταφορά της ρύπανσης μέσω υδρολογικών διεργασιών.

V. *Αναλύσεις πόσιμο νερού της κοινότητας Κίρκης*: Για την αξιολόγηση του κινδύνου από την ενδεχόμενη έκθεση του πληθυσμού σε βαρέα μέταλλα μέσω του πόσιμου νερού, πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις στο δίκτυο ύδρευσης της κοινότητας σε ετήσια βάση (πίνακας 7).

Πίνακας 7. Χημική ανάλυση πόσιμου νερού του δικτύου ύδρευσης της κοινότητας Κίρκης.

Παράμετρος	Ημερομηνία δειγματοληψίας	Σ1	Σ2	Σ3
pH	13.09.2008	7,01	7,12	7,07
	04.12.2008	7,34	7,21	7,28
	11.03.2009	7,17	7,23	7,22
	26.07.2009	7,23	7,37	7,28
	13.09.2008	921	913	915
EC (μS cm <sup>-1</sup> )	04.12.2008	817	832	828
	11.03.2009	904	909	912
	26.07.2009	915	911	923
	13.09.2008	36	42	39
	04.12.2008	23	31	29
Mn (μg L <sup>-1</sup> )	11.03.2009	38	46	41
	26.07.2009	47	54	53
	13.09.2008	41	48	43
	04.12.2008	39	44	46
	11.03.2009	23	30	33
Zn (μg L <sup>-1</sup> )	26.07.2009	35	40	37
	13.09.2008	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	04.12.2008	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	11.03.2009	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	26.07.2009	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
Pb (μg L <sup>-1</sup> )	13.09.2008	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	04.12.2008	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	11.03.2009	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	26.07.2009	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	13.09.2008	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
Cd (μg L <sup>-1</sup> )	04.12.2008	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	11.03.2009	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	26.07.2009	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	13.09.2008	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	04.12.2008	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
As (μg L <sup>-1</sup> )	11.03.2009	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	26.07.2009	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>	μ.α. <sup>(*)</sup>
	13.09.2008	96	87	92
	04.12.2008	102	94	88
	11.03.2009	98	101	95
Ca (mg L <sup>-1</sup> )	26.07.2009	110	113	109
	13.09.2008	59	71	69
	04.12.2008	65	68	62
	11.03.2009	72	78	74
	26.07.2009	62	64	61

μ.α.<sup>(\*)</sup> = μη ανιχνεύσιμο

Από τις αναλύσεις αυτές προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις των πιο τοξικών στοιχείων Pb, Cd και As στο πόσιμο νερό βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (κάτω από το όριο ανίχνευσης που είναι 2,5, 2 και 1 μg L<sup>-1</sup>, αντίστοιχα) και σε απόλυτη συναρμογή με το νομοθετικά θεσπισμένο όριο της ΚΥΑ Υ2/2600/01 (ΦΕΚ892 Β'/11-7-01).

## Συμπεράσματα

Για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και την ανάλυση του κινδύνου για τη Δημόσια Υγεία από το παλιό μεταλλείο Κίρκης πραγματοποιήθηκαν συνολικά περισσότερες από 120 δειγματοληψίες από δείγματα υπεδάφους, ιζημάτων, επιφανειακού και πόσιμου νερού που συνοδεύονται από 620 χημικές αναλύσεις για τον εντοπισμό κυρίως βαρέων μετάλλων και λοιπών ιόντων. Τα αποτελέσματα αυτά ενσωματώθηκαν σε μεθοδολογίες στατιστικής επεξεργασίας, γεωγραφικής χωροθέτησης και ανάλυσης επικινδυνότητας, για να εξακριβωθεί η πιστότητα των μετρήσεων και να ποσοτικοποιηθούν οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι για τη Δημόσια Υγεία. Κατά τη διεξαγωγή των ελέγχων χρησιμοποιήθηκαν οι αρτιότερες μέθοδοι εξαγωγής συμπερασμάτων, σύγχρονος υλικοτεχνικός εξοπλισμός και πρωτόκολλα που είναι σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα περιβαλλοντικής ανάλυσης. Οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία από το μεταλλείο Κίρκης συνοψίζονται στην διαπίστωση μιας σημαντικής περιβαλλοντικής επιβάρυνσης της περιοχής που περιλαμβάνει πιθανές πηγές επαγγελματικής ή ατυχηματικής έκθεσης σε υψηλότερες (τοξικές) συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων (κυρίως As, Pb, Cd και Zn) στους χώρους εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων και σε ακτίνα 2 Km από τις εγκαταστάσεις του μεταλλείου.

Διάφορες φυσικοχημικές διεργασίες (π.χ. οξείδωσης, διάβρωσης, υδρογεωλογικής αποσταθεροποίησης) και κυρίως τα καιρικά φαινόμενα που εμφανίζουν εποχή κλιμάκωση, τείνουν να αποδιοργανώνουν τα παραπάνω συστήματα, οδηγώντας σε δυναμική διασπορά της ρύπανσης μακριά από το εστιακό σημείο εκπομπής και κατά τη φορά ροής του επιφανειακού νερού του ποταμού Ειρήνης. Παρόλα αυτά, η κύρια ζώνη επιβάρυνσης που συγκεντρώνει το υψηλότερο ποσοστό ρύπανσης, συμπυκνώνεται γύρω από τον κύριο όγκο των εγκαταστάσεων του μεταλλείου, όπου βρίσκονται οι λεκάνες εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων.

Οι κίνδυνοι έκθεσης του πληθυσμού της κοινότητας Κίρκης σε τοξικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, μέσω του πόσιμου νερού, είναι αμελητέες. Παρόλα αυτά, απαιτείται συνεχής έλεγχος της ποιότητας του νερού για την πρόληψη των κινδύνων από ενδεχόμενη μεταβολή των χημικών χαρακτηριστικών, με γνώμονα τις πιθανές γεωλογικές αναδιαμορφώσεις του υδροφόρου ορίζοντα ή τυχόν αλλαγές στα πρότυπα υδροδότησης του οικισμού.

Σε ότι αφορά το φυσικό περιβάλλον, απαιτείται η λήψη άμεσων μέτρων αποκατάστασης της περιοχής για την αποφυγή ατυχηματικής έκθεσης και τον περιορισμό της διασποράς των τοξικών παραγόντων (βαρέων μετάλλων κτλ). Λαμβάνοντας υπόψη το περιβαλλοντικό κόστος και τους κινδύνους για τη Δημόσια Υγεία, που ανάγονται από την εμπειρία της παρούσας μελέτης, προκύπτει η ανάγκη για μια περισσότερο στοχευμένη ανάλυση κόστους-οφέλους σε ότι αφορά τις μεταλλευτικές δραστηριότητες που υπηρετούν τις αναπτυξιακές ανάγκες του μέλλοντος.

## Βιβλιογραφία

Arikas, K., Watzl, V. and Goetz, D., Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από τα Μεταλλεία Κίρκης. Ινστιτούτο Ορυκτογραφίας-Πετρογραφίας Αμβούργου, Οκτώβριος 2001.

Bowen, H.J.M. *Environmental Chemistry of the Elements*, Academic Press, New York (1979).

EPA (Environmental Protection Agency, USA). *Exposure Factors Handbook* (EPA/600/P-95/002Fa). Update to Exposure Factors Handbook (EPA/600/8-89/043), Environmental Protection Agency Region I, Washington, D.C., USA (1997).

Jung, M. C. Contamination by Cd, Cu, Pb, and Zn in mine wastes from abandoned metal mines classified as mineralization types in Korea. *Environ. Geochem. Health* (2007).

Θ.Κ. Κωνσταντινίδης, Τύρφη Φιλίππων, Λιγνίτες Μαυρολεύκης: Υγειονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση τους για ηλεκτροπαραγωγή. Δελτίο Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας - Τμήμα Ανατολικής Μακεδονίας, *1* (6): 104-108 (1990).

Kim, J. Y., Kim, K. W., Ahn, J. S., Ko, I. and Lee, C. H. Investigation and risk assessment modeling of As and other heavy metals contamination around five abandoned metal mines in Korea. *Environ. Geochem. Health* **27**, 193-203 (2005).

Lee, J. S., Chon, H. T. and Kim, K. W. Human risk assessment of As, Cd, Cu and Zn in the abandoned metal mine site. *Environ. Geochem. Health* **27**, 185-191 (2005).

Lee, M. *et al.* Soil washing of As-contaminated stream sediments in the vicinity of an abandoned mine in Korea. *Environ. Geochem. Health* **29**, 319-329 (2007).

Li, J., Xie, Z. M., Xu, J. M. and Sun, Y. F. Risk assessment for safety of soils and vegetables around a lead/zinc mine. *Environ. Geochem. Health* **28**, 37-44 (2006).

Liu, H., Probst, A. and Liao, B. Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/zinc mine spill (Hunan, China). *Sci. Total Environ.* **339**, 153-166 (2005).

Lopez Alonso, M. *et al.* Mercury concentrations in cattle from NW Spain. *Sci. Total Environ.* **302**, 93-100 (2003).

Loredo, J., Ordonez, A. and Alvarez, R. Environmental impact of toxic metals and metalloids from the Munon Cimero mercury-mining area (Asturias, Spain). *J. Hazard. Mater.* **136**, 455-467 (2006).

Madejon, P., Murillo, J. M., Maranon, T., Cabrera, F. and Lopez, R. Bioaccumulation of As, Cd, Cu, Fe and Pb in wild grasses affected by the Aznalcollar mine spill (SW Spain). *Sci. Total Environ.* **290**, 105-120 (2002).

Maramba, N. P. *et al.* Environmental and human exposure assessment monitoring of communities near an abandoned mercury mine in the Philippines: A toxic legacy. *J. Environ. Manage.* **81**, 135-145 (2006).

Mayan, O. N., Gomes, M. J., Henriques, A., Silva, S. and Begonha, A. Health survey among people living near an abandoned mine. A case study: Jales mine, Portugal. *Environ. Monit. Assess.* **123**, 31-40 (2006).

Miller, J. R., Hudson-Edwards, K. A., Lechler, P. J., Preston, D. and Macklin, M. G. Heavy metal contamination of water, soil and produce within riverine communities of the Rio Pilcomayo basin, Bolivia. *Sci. Total Environ.* **320**, 189-209 (2004).

Olias, M., Ceron, J. C., Fernandez, I. and De la Rosa, J. Distribution of rare earth elements in an alluvial aquifer affected by acid mine drainage: the Guadiamar aquifer (SW Spain). *Environ. Pollut.* **135**, 53-64 (2005).

Pereira, R., Ribeiro, R. and Goncalves, F. Scalp hair analysis as a tool in assessing human exposure to heavy metals (S. Domingos mine, Portugal). *Sci. Total Environ.* **327**, 81-92 (2004).

Yang, Q. W., Shu, W. S., Qiu, J. W., Wang, H. B. and Lan, C. Y. Lead in paddy soils and rice plants and its potential health risk around Lechang lead/zinc mine, Guangdong, China. *Environ. Int.* **30**, 883-889 (2004).

## Διαχρονική Μελέτη Θνησιμότητας Κοινότητας Κίρκης

### 1. Περίοδος 1942-1949

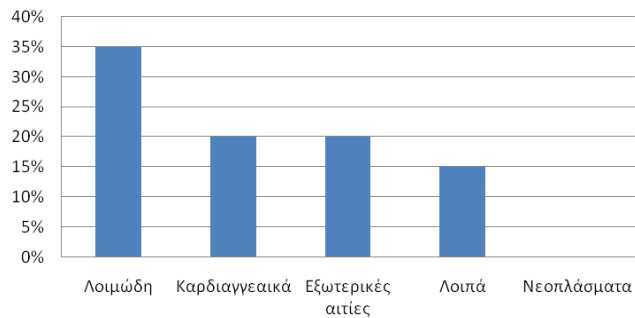
Κατά την περίοδο 1942-1949 καταγράφηκαν 20 θάνατοι (12 άνδρες, 8 γυναίκες). Η κατανομή των αιτιών θανάτου ανά κατηγορία:

1. Λοιμώδη = 7 (3 άνδρες, 4 γυναίκες)
2. Καρδιαγγειακά = 5 (1 άνδρας, 4 γυναίκες)
3. Νεοπλάσματα = 0
4. Εξωτερικές αιτίες = 5 (5 άνδρες, 0 γυναίκες)
5. Λοιπές αιτίες = 3 (3 άνδρες, 0 γυναίκες)

Θνησιμότητα περιόδου 1942-1949



Περίοδος 1942-1949



### 2. Δεκαετία 1950-1959

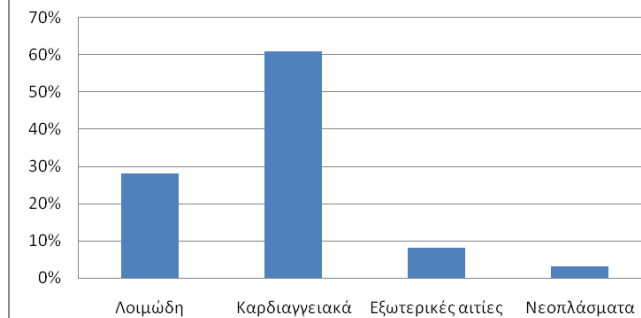
Κατά τη δεκαετία 1950-1949 καταγράφηκαν 36 θάνατοι (22 άνδρες, 14 γυναίκες). Η κατανομή των αιτιών θανάτου ανά κατηγορία:

1. Λοιμώδη = 10 (9 άνδρες, 1 γυναίκα)
2. Καρδιαγγειακά = 22 (10 άνδρες, 12 γυναίκες)
3. Νεοπλάσματα = 3 (2 άνδρες, 1 γυναίκα)
4. Εξωτερικές αιτίες = 1 (1 άνδρας, 0 γυναίκες)
5. Λοιπές αιτίες = 0

Δεκαετία 1950-1959



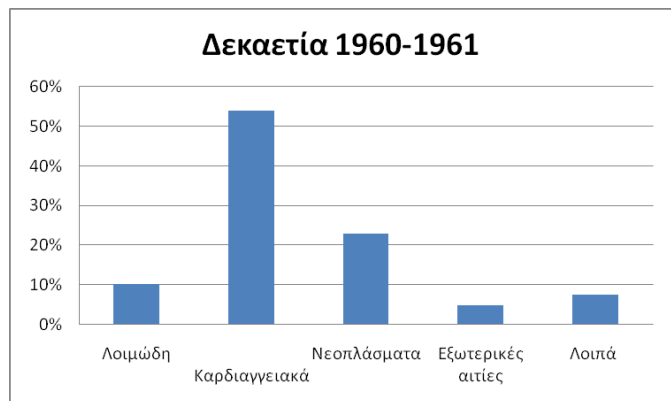
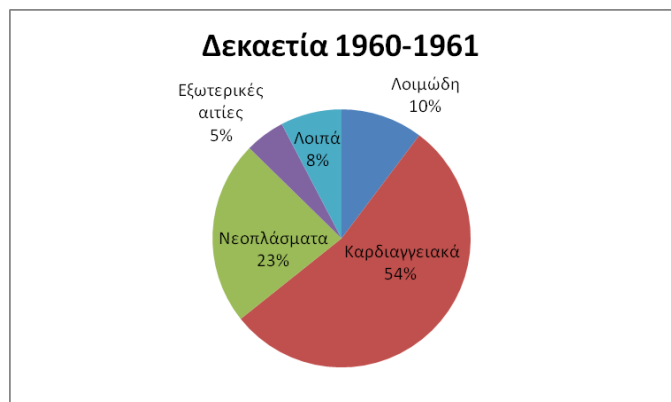
Δεκαετία 1950-1959



### 3. Δεκαετία 1960-1969

Κατά τη δεκαετία 1960-1969 καταγράφηκαν 39 θάνατοι (19 άνδρες, 20 γυναίκες). Η κατανομή των αιτιών θανάτου ανά κατηγορία:

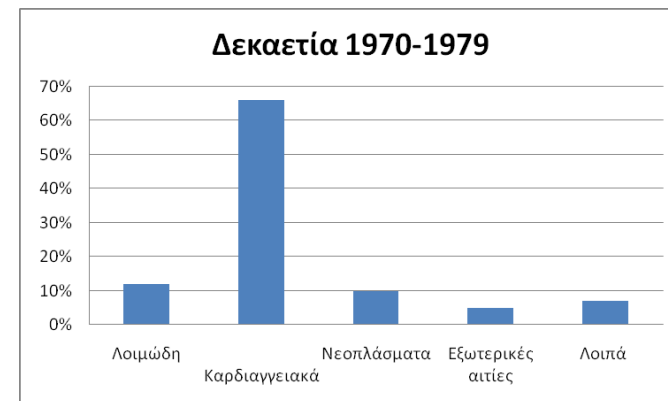
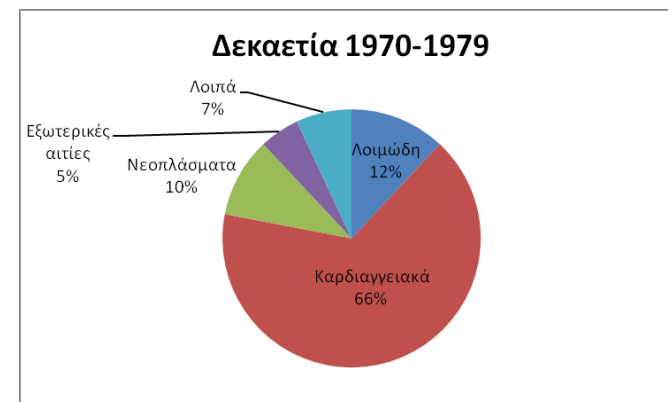
1. Λοιμώδη = 4 (2 άνδρες, 2 γυναίκες)
2. Καρδιαγγειακά = 21 (6 άνδρες, 15 γυναίκες)
3. Νεοπλάσματα = 9 (7 άνδρες, 2 γυναίκες)
4. Εξωτερικές αιτίες = 2 (2 άνδρες, 0 γυναίκες)
5. Λοιπές αιτίες = 3 (2 άνδρες, 1 γυναίκα)



### 4. Δεκαετία 1970-1979

Κατά τη δεκαετία 1970-1979 καταγράφηκαν 42 θάνατοι (23 άνδρες, 19 γυναίκες). Η κατανομή των αιτιών θανάτου ανά κατηγορία:

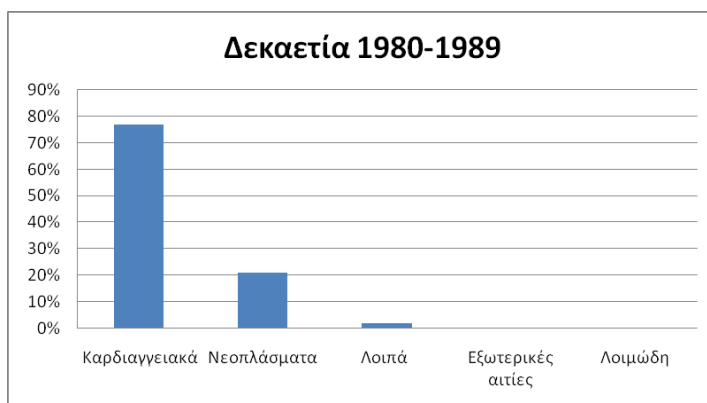
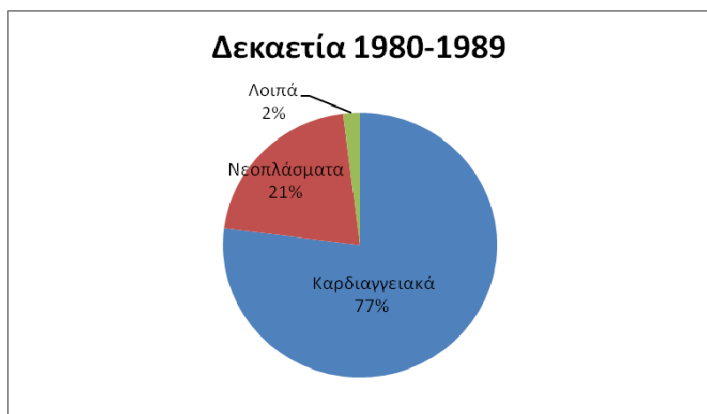
1. Λοιμώδη = 5 (4 άνδρες, 1 γυναίκα)
2. Καρδιαγγειακά = 28 (15 άνδρες, 13 γυναίκες)
3. Νεοπλάσματα = 4 (1 άνδρες, 3 γυναίκες)
4. Εξωτερικές αιτίες = 2 (2 άνδρες, 0 γυναίκες)
5. Λοιπές αιτίες = 3 (1 άνδρες, 2 γυναίκες)



### 5. Δεκαετία 1980-1989

Κατά τη δεκαετία 1980-1989 καταγράφηκαν 43 θάνατοι (23 άνδρες, 20 γυναίκες). Η κατανομή των αιτιών θανάτου ανά κατηγορία:

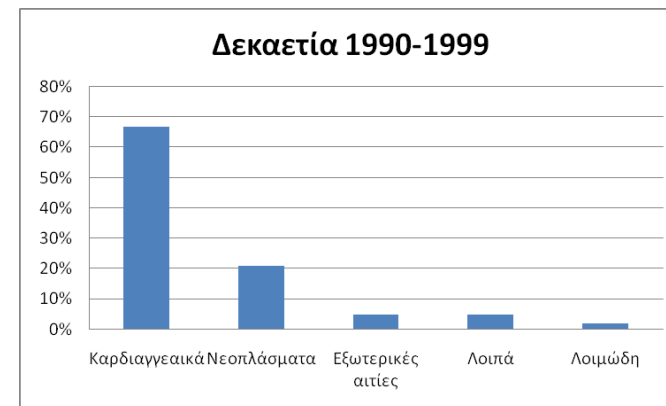
1. Λοιμώδη = 0
2. Καρδιαγγειακά = 33 (15 άνδρες, 18 γυναίκες)
3. Νεοπλάσματα = 9 (8 άνδρες, 1 γυναίκα)
4. Εξωτερικές αιτίες = 0
5. Λοιπές αιτίες = 1 (0 άνδρες, 1 γυναίκα)



### 6. Δεκαετία 1990-1999

Κατά τη δεκαετία 1990-1999 καταγράφηκαν 39 θάνατοι (17 άνδρες, 22 γυναίκες). Η κατανομή των αιτιών θανάτου ανά κατηγορία:

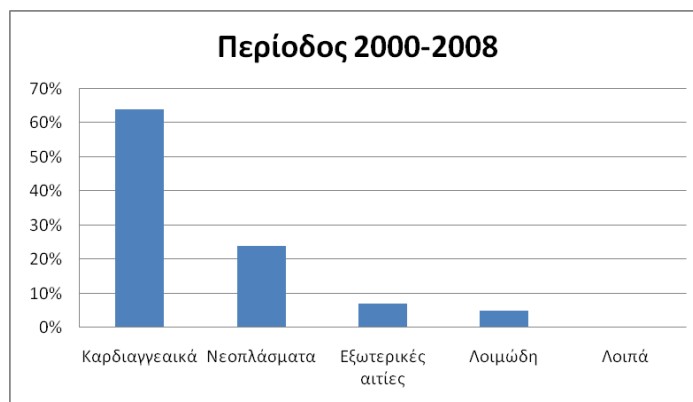
1. Λοιμώδη = 1 (0 άνδρες, 1 γυναίκα)
2. Καρδιαγγειακά = 26 (12 άνδρες, 14 γυναίκες)
3. Νεοπλάσματα = 8 (4 άνδρες, 4 γυναίκες)
4. Εξωτερικές αιτίες = 2 (0 άνδρες, 2 γυναίκες)
5. Λοιπές αιτίες = 2 (1 άνδρας, 1 γυναίκα)



## 7. Περίοδος 2000-2008

Κατά τη χρονική περίοδο 2000-2008 καταγράφηκαν 41 θάνατοι (25 άνδρες, 16 γυναίκες). Η κατανομή των αιτιών θανάτου ανά κατηγορία:

1. Λοιμώδη = 2 (1 άνδρας, 1 γυναίκα)
2. Καρδιαγγειακά = 26 (15 άνδρες, 11 γυναίκες)
3. Νεοπλάσματα = 10 (7 άνδρες, 3 γυναίκες)
4. Εξωτερικές αιτίες = 3 (2 άνδρες, 1 γυναίκα)
5. Λοιπές αιτίες = 0



## Μέση ηλικία θανάτου - νεοπλασίες

**Δεκαετία του 1950:** 54,3 έτη -> άνδρες: 56 έτη (N=2), γυναίκες: 51 έτη (N=1)

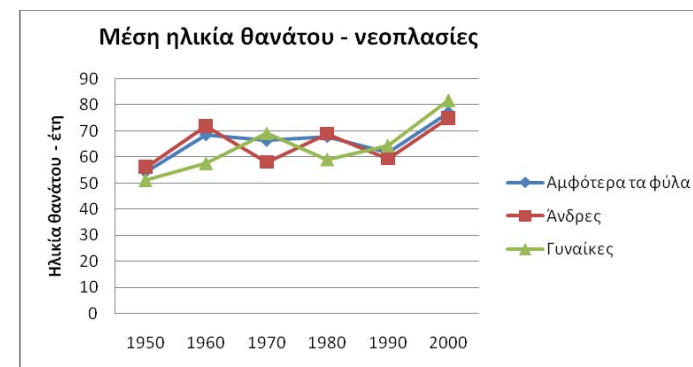
**Δεκαετία του 1960:** 68,5 έτη -> άνδρες: 71,7 έτη (N=7), γυναίκες: 57,5 έτη (N=2)

**Δεκαετία του 1970:** 66,3 έτη -> άνδρες: 58 έτη (N=1), γυναίκες: 69 έτη (N=3)

**Δεκαετία του 1980:** 67,8 έτη -> άνδρες: 68,9 έτη (N=8), γυναίκες: 59 έτη (N=1)

**Δεκαετία του 1990:** 61,7 έτη -> άνδρες: 59,3 έτη (N=4), γυναίκες: 64,3 (N=4)

**Δεκαετία του 2000:** 76,9 έτη -> άνδρες: 74,9 έτη (N=7), γυναίκες: 81,7 (N=3)



## Μέση ηλικία θανάτου - καρδιαγγειακά

**Δεκαετία του 1950:** 75,1 έτη -> άνδρες: 71,3 έτη (N=10), γυναίκες: 78,3 έτη (N=12)

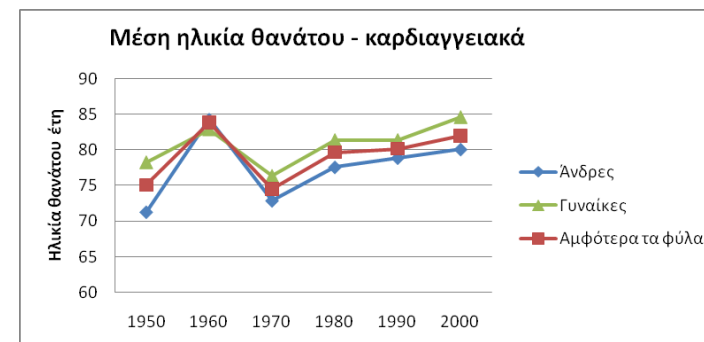
**Δεκαετία του 1960:** 83,9 έτη -> άνδρες: 84,3 έτη (N=6), γυναίκες: 82,9 έτη (N=15)

**Δεκαετία του 1970:** 74,5 έτη -> άνδρες: 72,9 έτη (N=15), γυναίκες: 76,4 έτη (N=13)

**Δεκαετία του 1980:** 79,7 έτη -> άνδρες: 77,6 έτη (N=15), γυναίκες: 81,4 έτη (N=18)

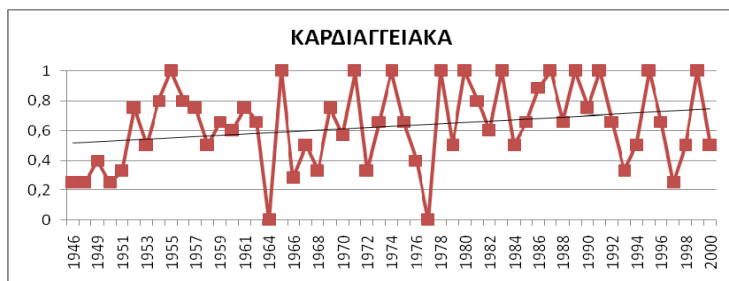
**Δεκαετία του 1990:** 80,2 έτη -> άνδρες: 78,9 έτη (N=12), γυναίκες: 81,4 (N=14)

**Δεκαετία του 2000:** 82 έτη -> άνδρες: 80,1 έτη (N=15), γυναίκες: 84,6 (N=11)

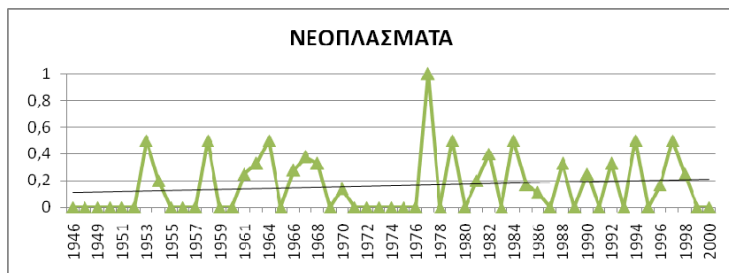


Την περίοδο 1946-2008 στην περιοχή της Κίρκης σημειώθηκαν 41 θάνατοι από νεοπλασίες σε σύνολο 260 θανάτων (ποσοστό 15,8%). Ο καρκίνος του πνεύμονα και ο καρκίνος του στομάχου αποτελούν τις συχνότερες αιτίες θανάτου από νεοπλασίες με συνεισφορά επί του συνόλου περίπου 34% (17% έκαστος). Το 86% των θανάτων από καρκίνο του πνεύμονα και το 71,2% των θανάτων από καρκίνο του στομάχου αφορούν άνδρες μέσης ηλικίας και 67,8 και 69,2 ετών αντίστοιχα. Στις γυναίκες ο καρκίνος του μαστού και ωθηθικών αποτελούν αθροιστικά το 21,4% επί του συνόλου των θανάτων που αφορούν νεοπλασίες.

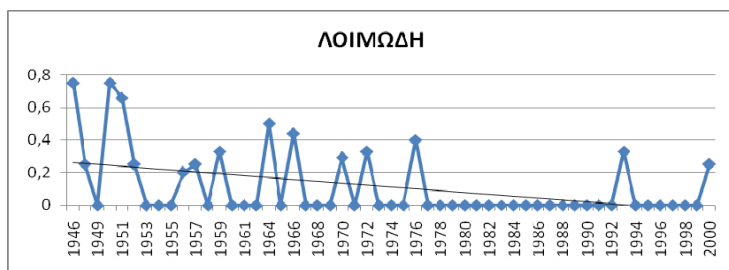
*Θνησιμότητα, επί συνόλου, οφειλόμενη σε καρδιαγγειακά νοσήματα από το 1946-2000*



*Θνησιμότητα, επί συνόλου, οφειλόμενη σε νεοπλασίες από το 1946-2000*

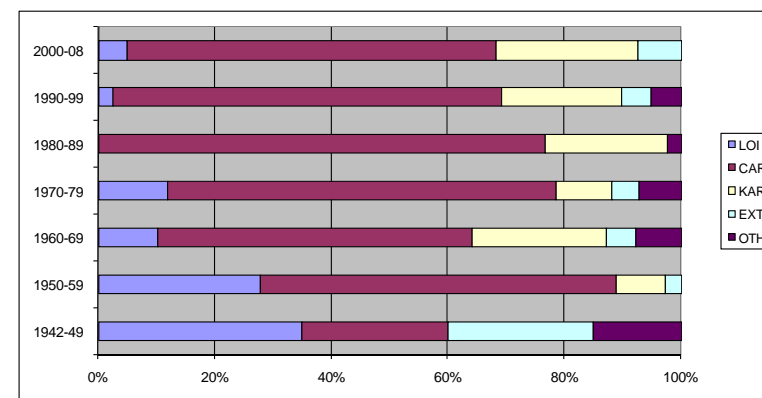


*Θνησιμότητα, επί συνόλου, οφειλόμενη σε λοιμώδη νοσήματα από το 1946-2000*



## Διαχρονικές τάσεις θνησιμότητας

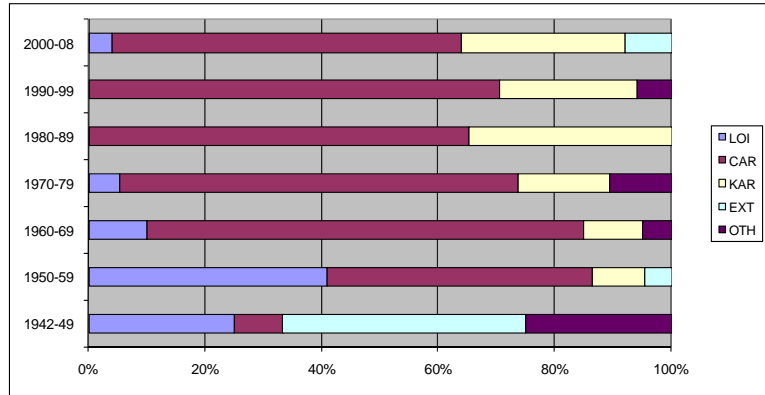
Παρατηρούμε διαχρονικά τη γενικότερη τάση αύξησης της θνησιμότητας της οφειλόμενης σε εκφυλιστικά νοσήματα (καρδιαγγειακά, νεοπλασίες) και μείωση της θνησιμότητας της οφειλόμενης σε λοιμώδη νοσήματα, ως απότοκου του φαινομένου της δημογραφικής μετάβασης και της γήρανσης του πληθυσμού.



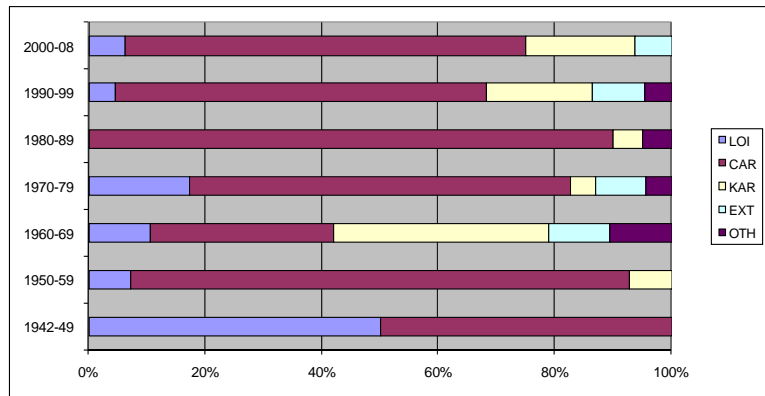
*Αμφότερα τα φύλα*



## Ανάλυση επιβίωσης για τον πληθυσμό της Κίρκης

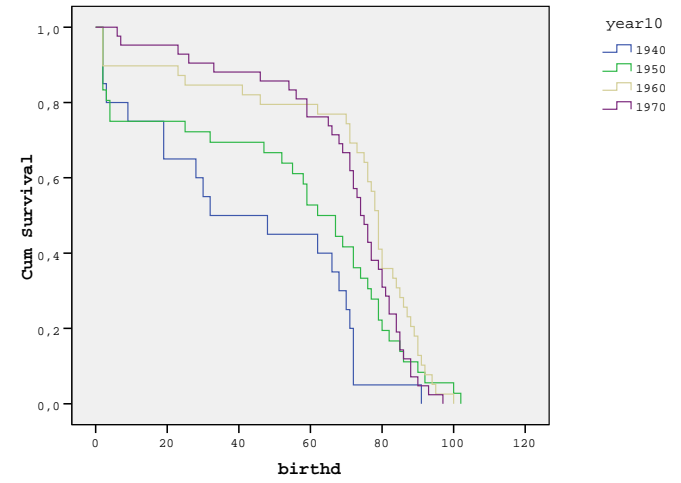


APPENΞΣ

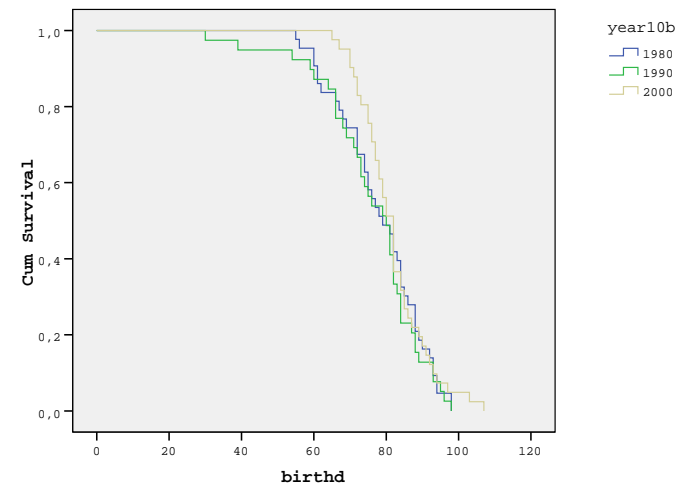


ΘΗΛΕΙΣ

Survival Function



Survival Function



## **ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΚΙΡΚΗΣ** **Αξιολόγηση της Περιβαλλοντικής Ρύπανσης** **Κίνδυνοι σχετιζόμενοι με τη Δημόσια Υγεία**

### **ΕΥΡΕΙΑ ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η μελέτη επιπτώσεων από το μεταλλείο Κίρκης, που αφορά στην αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και την εκτίμηση των κινδύνων για τη Δημόσια Υγεία προέκυψε από μια πρόταση του Προέδρου της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Ροδόπης - Έβρου (ΝΑΡΕ) Καθηγητή κ. Γ. Μηνόπουλου και υλοποιήθηκε μέσα από τη συνεργασία της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Ροδόπης - Έβρου (ΝΑΡΕ), του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης (ΔΠΘ) και του Γενικού Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου (ΓΠΝΑ) στα πλαίσια μιας Προγραμματικής Σύμβασης, εκπρόσωπος της οποίας ορίστηκε για το ΔΠΘ ο κ. Θ.Κ. Κωνσταντινίδης, Διευθυντής του Εργαστηρίου Υγιεινής και Προστασίας Περιβάλλοντος, Αν. Καθηγητής του Τμήματος Ιατρικής ΔΠΘ. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ αποτελούν τμήμα της διδακτορικής διατριβής του βιοχημικού κ. Χ. Νικολαΐδη, με θέμα: «Διερεύνηση επιπτώσεων από την εντατικοποίηση της γεωργικής παραγωγής και της βιομηχανίας στη Δημόσια Υγεία».

Η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που παρουσιάζεται δεν είναι η πρώτη που πραγματοποιείται. Έρχεται να συμπληρώσει παλαιότερες έρευνες, όπως αυτή του καθηγητή κ. Αρίκα του Πανεπιστημίου του Αμβούργου, που ουσιαστικά ανέδειξε το πρόβλημα (και ανάγκασε την οργανωμένη πολιτεία να προβεί σε διορθωτικά μέτρα, δηλαδή στην απομάκρυνση βαρελίων κυανιούχου νατρίου από το χώρο του μεταλλείου και την ανάληψη από το Ινστιτούτο Μεταλλευτικών και Γεωλογικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) ενός επιδοτούμενου προγράμματος για την καταγραφή της ρύπανσης και την εξεύρεση οικονομικά εφικτών τεχνικών απορρύπανσης). Η παρούσα μελέτη εστιάζει στις κύριες παραμέτρους της περιβαλλοντικής τοξικολογίας και επιδημιολογίας, δηλαδή εξετάζει το πρόβλημα από τη σκοπιά της Δημόσιας Υγείας - Δημόσιας Υγιεινής.

Στα πλαίσια της δημοσιοποίησης του προβλήματος, γύρω στο 2005-2006 στα ΜΜΕ, και με δεδομένη την περιρρέουσα κινδυνολογία που αναπτύχθηκε την εποχή εκείνη (και που ενδεχομένως ακόμη

αιωρείται) γύρω από τα θέματα Δημόσιας Υγείας - Δημόσιας Υγιεινής, που αφορούν στις επιπτώσεις της ρύπανσης από το μεταλλείο Κίρκης, το Εργαστήριο Υγιεινής και Προστασίας Περιβάλλοντος του Τμήματος Ιατρικής ΔΠΘ, ως καθ' ύλην υπεύθυνου και εντεταμένου, από την Πολιτεία, φορέα στην γεωγραφική περιοχή αναφοράς της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης έθεσε τα εξής ερωτήματα:

1. Υπάρχει πρόβλημα ρύπανσης της περιοχής γύρω από το μεταλλείο Κίρκης;
2. Συνιστά η ρύπανση αυτή απειλή για το περιβάλλον και τη Δημόσια Υγεία;

Για τον λόγο αυτόν, το Εργαστήριο Υγιεινής και Προστασίας Περιβάλλοντος του Τμήματος Ιατρικής ΔΠΘ κατά την τριετία 2007-2009 (δηλαδή κατά την περίοδο ενασχόλησής του με το πρόβλημα):

- i) πραγματοποίησε δειγματοληψίες από το περιβάλλον (δηλαδή από τις δεξαμενές εναπόθεσης μεταλλευτικών αποβλήτων, τα επιφανειακά ύδατα, τα ιζήματα, τα εδάφη των γεωργικών καλλιεργειών και το πόσιμο νερό του δικτύου ύδρευσης της κοινότητας Κίρκης) και προέβη στις αντίστοιχες χημικές αναλύσεις,
- ii) χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα και τοξικολογικούς δείκτες πραγματοποίησε μια ανάλυση επικινδυνότητας για τη Δημόσια Υγεία,
- iii) συνέλεξε επιδημιολογικά δεδομένα που αφορούν στη θνησιμότητα της περιοχής (από το 1945 έως το 2008) για να τα συγκρίνει με τα αντίστοιχα του υπόλοιπου πληθυσμού.

### **ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Η παρουσία ορυκτού πλούτου στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης είναι γνωστή από την αρχαιότητα. Οι πρώτες μεταλλευτικές δραστηριότητες στην περιοχή τοποθετούνται γύρω στην εποχή του χαλκού (3000-1100 π.Χ.) ενώ αδιάσειστα ιστορικά στοιχεία υπάρχουν για την ύστερη αρχαϊκή και πρώιμη κλασική εποχή. Ο *Ηρόδοτος* στις Ιστορίες του (Βιβλίο Στ - Ερατώ) αναφέρεται χαρακτηριστικά στα μεταλλεία της περιοχής με τον όρο «Σκαπτή Υλη». Ανάλογες αναφορές υπάρχουν και στον *Θουκυδίδη*, τον *Πλούταρχο* και το *Στράβωνα*.

Η πρώτη επιστημονική χαρτογράφηση στην περιοχή της Κίρκης έγινε από αγγλικές εταιρίες γύρω στο 1925. Το μεταλλείο κατασκευάστηκε από τους Γερμανούς κατά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, μα λειτούργησε ελάχιστα. Μόλις ολοκληρώθηκε η κατασκευή του ο

πόλεμος τελείωσε, οι Γερμανοί υποχώρησαν και το έργο εγκαταλείφθηκε. Η κύρια μεταλλευτική δραστηριότητα αναπτύχθηκε κατά τα έτη 1974-1980 και 1990-1997 υπό τη διεύθυνση ενός ιδιώτη ονόματι *Κυπριάδη*. Έκτοτε το μεταλλείο εγκαταλείφθηκε στη φθορά του χρόνου χωρίς να έχει γίνει, μέχρι σήμερα, κάποια προσπάθεια αποκατάστασης της περιοχής ή να έχει προκύψει ένα μοντέλο διαχείρισης.

Περίπου 200,000 τόνοι θειούχου μεταλλεύματος εξορύχτηκαν κατά την περίοδο λειτουργίας του μεταλλείου. Τα κύρια μεταλλικά ορυκτά στην περιοχή της Κίρκης είναι ο σφαλερίτης (ZnS), ο βουρσίτης (ZnS) και ο γαληνίτης (PbS) που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή μολύβδου και ψευδαργύρου. Στην περιοχή συναντώνται ακόμα και τα ορυκτά κερκίτης ( $Pb_{10}Bi_3As_3S_{19}$ ), ιορδανίτης ( $Pb_{14}As_6S_{23}$ ), τενναντίτης ( $Cu_{12}As_4S_{13}$ ) και σελιγμανίτης ( $CuPbAsS_3$ ).

Η μεταλλευτική δραστηριότητα είναι μια, εν γένει, παρεμβατική μέθοδος που α) προκαλεί ριζική αναδιαμόρφωση του τοπίου (κυρίως αν η εξόρυξη γίνεται επιφανειακά), β) περιλαμβάνει εκτεταμένη χρήση νερού και χημικών μέσων για την κατεργασία και τον εμπλουτισμό του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος και γ) ενέχει μια επικινδυνότητα για το περιβάλλον και τη Δημόσια Υγεία που πρέπει να συνυπολογίζεται στην ανάλυση κόστους-οφέλους, ιδίως όταν μια επένδυση συμβαίνει με ιδιωτικο-οικονομικά κριτήρια.

Κατά την πρώτη περίοδο των εργασιών (1975-1980) ο πολτός των μεταλλοφόρων αποβλήτων του εργοστασίου με τα συνοδευτικά χημικά αντιδραστήρια μεταφερόταν σε ένα επίπεδο χώρο, περίπου, 200 μέτρα νοτιοανατολικά του εργοστασίου δίπλα στον ποταμό Ειρήνη. Στη δεύτερη περίοδο δραστηριοποίησης του συγκροτήματος *Κυπριάδη* (1990-1996) τα απόβλητα διοχετευόταν σε μικρές, πρόχειρα κατασκευασμένες λεκάνες διαμέτρου περίπου 50-100 μέτρων.

Για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων συλλέχθηκαν δείγματα: Από τις δεξαμενές εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων, από τα ιζήματα και το επιφανειακό νερό του ποταμού, τα εδάφη των γεωργικών καλλιεργειών και το πόσιμο νερό της κοινότητας Κίρκης.

Στις δεξαμενές εναπόθεσης μεταλλευτικών αποβλήτων ανιχνεύθηκαν συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, δεκάδες ως εκατοντάδες φορές υψηλότερες από αυτές που συνήθως απαντώνται στο περιβάλλον π.χ. Zn=22,292 mg/kg, Cd=174.1 mg/kg, Pb=12,567 mg/kg, Cu=1,201 mg/kg και As=369.8 mg/kg. Ο δείκτης *γεωσυσσώρευσης* (Igeo) έλαβε τιμές: 4.6-7.7 για τον ψευδάργυρο, 6.7-

10.2 για το κάδμιο, 5.3-7.4 για το αρσενικό και 6.7-8.7 για τον μόλυβδο, γεγονός που υποδηλώνει εξαιρετικά υψηλή ρύπανση. Ομοίως, εξαιρετικά υψηλός, ήταν και ο παράγοντας εμπλουτισμού για τα βαρέα μέταλλα στη συντριπτική πλειοψηφία των δειγμάτων (data not shown).

Το υπέδαφος στις λεκάνες εναπόθεσης τελμάτων αποτελείται από αδρή, κοκκώδη ψαμμιτική ύλη, γεγονός που καθιστά αμφίβολη τη στεγανότητα των τοιχωμάτων και του πυθμένα. Κατά συνέπεια η απορροή τοξικών ουσιών προς τον υδάτινο αποδέκτη είναι πολύ πιθανή. Οι διάφορες φυσικοχημικές διεργασίες, η διάβρωση του εδάφους και τα καιρικά φαινόμενα εντείνουν τη διαλυτοποίηση των μετάλλων, ενώ αυξάνουν και τη διασπορά τους στο περιβάλλον.

Στις μετρήσεις που έγιναν στα επιφανειακά νερά του ποταμού Ειρήνη, που διατρέχει τη ζώνη απορροής των μεταλλευτικών αποβλήτων, βρέθηκαν ασυνήθιστα υψηλές συγκεντρώσεις Mn, Zn και Cd. Οι χαμηλές τιμές του pH σε συνδυασμό με τις υψηλές, για τα επιφανειακά νερά, συγκεντρώσεις θειικών ιόντων είναι ενδεικτικές για την αιτία της ρύπανσης. Η θειούχα σύσταση των μεταλλευμάτων, σε συνδυασμό με την οξύτητα, είναι υπεύθυνη για το φαινόμενο της όξινης απορροής που οδηγεί στην απελευθέρωση βαρέων μετάλλων στον υδάτινο αποδέκτη. Δειγματοληψίες κατά μήκος ροής του ποταμού έδειξαν μια προοδευτική μείωση της τιμής του pH, αύξηση της συγκέντρωσης των θειικών ιόντων, όπως επίσης και του Mn, Zn, Cd και Pb όσο πλησίαζαν τον χώρο εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων και κατόπιν μια βαθμιαία υποχώρησή τους. Αυτό καθιστά το μεταλλείο ως δυναμικό ρυπαντή των υδάτων στην περιοχή της Κίρκης. Παρόλα αυτά δεν ανιχνεύτηκε As, και οι συγκεντρώσεις του αμέσως πιο τοξικού στοιχείου (του Cd) ήταν αρκετά χαμηλές.

Κατά το πρώτο διάστημα της λειτουργίας του μεταλλείου, τα απόβλητα του εργοστασίου μεταφερόταν δίπλα στον ποταμό Ειρήνη. Η εναπόθεση των μεταλλευτικών αποβλήτων στα ιζήματα του ποταμού συνιστά μια από τις βασικότερες αιτίες της ρύπανσης. Στα ιζήματα του ποταμού Ειρήνη ανιχνεύθηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, που σε καμιά περίπτωση δεν συνάδουν με φυσική παρουσία. Ο δείκτης *γεωσυσσώρευσης* και εμπλουτισμού των ιζημάτων με βαρέα μέταλλα, κυρίως Cd και As και σε μικρότερο βαθμό Pb και Zn υποδεικνύει πως η ρύπανση έχει ιστορικό πολλών ετών (data not shown). Δεδομένης της υψηλής τοξικότητας αυτών των στοιχείων, η επικινδυνότητα για το τοπικό οικοσύστημα θα πρέπει να θεωρείται αρκετά υψηλή. Στην περιοχή της Κίρκης παρατηρείται κτηνοτροφική και γεωργική δραστηριότητα που περιλαμβάνει βόσκηση αμμοεπιφύων και

άρδευση των καλλιεργειών. Και οι δυο αυτές δραστηριότητες εξαρτώνται άμεσα από την παροχή τρεχούμενου επιφανειακού νερού.

Στα δείγματα που συλλέχθηκαν από τα γεωργικά εδάφη εντοπίστηκαν αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και κυρίως Cd, As και Pb. Ο δείκτης ρύπανσης των γεωργικών εδαφών μειωνόταν αισθητά, όσο μεγάλωνε η απόσταση από τις ζώνες εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων και έφτανε οριακά τα 2 km. Η μεταφορά των, εμπλουτισμένων με βαρέα μέταλλα, θειικών αλάτων από τις ζώνες εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων στις παρακείμενες γεωργικές εκτάσεις μπορεί να συμβεί μέσω πολύπλοκων υδρογεωλογικών σχηματισμών, της δύναμης του ανέμου και λοιπών φυσικών διεργασιών.

Συνοψίζοντας τα ευρήματα της περιβαλλοντικής μελέτης μπορούμε αν συμπεράνουμε τα εξής:

- Η εξορυκτική δραστηριότητα στο μεταλλείο Κίρκης οδήγησε στη συστηματική υποβάθμιση της περιοχής.
- Οι λεκάνες εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων αποτελούν μια διαρκή πηγή διαφυγής τοξικών στοιχείων στο περιβάλλον.
- Στα δείγματα του επιφανειακού νερού και τα ιζήματα του ποταμού εντοπίστηκαν ασυνήθιστα υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ρύπανση έχει ιστορικό πολλών ετών.
- Η ρύπανση των γεωργικών εδαφών, σε ακτίνα 2 km από το μεταλλείο, και η ανάπτυξη κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων στην περιοχή, συνιστά μια επιπρόσθετη επικινδυνότητα που πρέπει να αξιολογηθεί.

#### **ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ**

Οι μελέτες ανάλυσης επικινδυνότητας περιλαμβάνουν 4 διακριτά στάδια:

- 1<sup>ο</sup> Αναγνωρίζεται ο κίνδυνος (π.χ. ρύπανση του πόσιμου νερού με βαρέα μέταλλα),
- 2<sup>ο</sup> αξιολογείται η έκθεση του πληθυσμού (λαμβάνοντας υπόψη τη μέση ημερήσια δόση),
- 3<sup>ο</sup> γίνεται αξιολόγηση του συντελεστή δόσης-αποτελέσματος (με τοξικολογικά κριτήρια) και
- 4<sup>ο</sup> Χαρακτηρίζεται η επικινδυνότητα (τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά).

Στις μελέτες ανάλυσης επικινδυνότητας το σημαντικότερο δεδομένο, μετά την αναγνώριση του κινδύνου, είναι ο υπολογισμός της μέσης ημερήσιας δόσης. Η έκθεση του πληθυσμού αξιολογείται λαμβάνοντας υπόψη τη συγκέντρωση ενός τοξικού παράγοντα, το ρυθμό πρόσληψης, τη διάρκεια και τη συχνότητα έκθεσης σε αυτόν, σε σχέση με κάποια βιομετρικά μεγέθη. Ως πηγή έκθεσης του πληθυσμού μπορεί θεωρείται το πόσιμο νερό, η διατροφή, η ατμόσφαιρα και το περιβάλλον εργασίας.

Το πρώτο πράγμα που κάναμε, λοιπόν, ήταν να ελέγξουμε την ποιότητα του πόσιμου νερού στην κοινότητα Κίρκης (που σύμφωνα με την απογραφή του 2001 μετρά 116 κατοίκους). Όλες οι φυσικοχημικές παράμετροι, συμπεριλαμβανομένου του pH, της αγωγιμότητας, των νιτρικών, θειικών και αμμωνιακών ιόντων, και κυρίως των βαρέων μετάλλων, ήταν μέσα στο φυσιολογικό εύρος τιμών που ορίζει η νομοθεσία. Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά δεν υπάρχει κίνδυνος έκθεσης του πληθυσμού σε τοξικές ενώσεις μέσω του πόσιμου νερού.

[Σημείωση: Το γεγονός ότι τα αυτά, βέβαια, δεν αποκλείει ιστορικό προηγούμενο... Η ανάλυση επικινδυνότητας γίνεται προοπτικά. Δηλαδή αξιολογείται ο κίνδυνος σύμφωνα με τα τρέχοντα δεδομένα. Για αναφορές στο παρελθόν θα πρέπει να αναζητηθούν και να αξιολογηθούν αναδρομικά τα επιδημιολογικά δεδομένα].

Το αμέσως επόμενο στοιχείο που ελέγξαμε ήταν η πιθανότητα μεταφοράς της ρύπανσης από τα, επιβαρυμένα με βαρέα μέταλλα, γεωργικά εδάφη στις καλλιέργειες και τα αγροτικά προϊόντα της περιοχής. Γύρω από το μεταλλείο αναπτύσσονται καλλιέργειες σιτηρών κατά την εαρινή και θερινή περίοδο. Ο κίνδυνος μεταφοράς τοξικών στοιχείων από το υπέδαφος στον καρπό του φυτού είναι αρκετά σημαντικός, καθώς τα στοιχεία αυτά μπορεί να εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα και να φτάσουν στον άνθρωπο-καταναλωτή. Ο δείκτης βιοσυσώρευσης μετράει ακριβώς το λόγο της συγκέντρωσης ενός στοιχείου στη ξηρή μάζα του φυτού σε σχέση με την αντίστοιχη συγκέντρωσή του στο υπέδαφος (τιμές >1 υποδηλώνουν κατά τεκμήριο βιοσυσώρευση του στοιχείου). Οι δείκτες βιοσυσώρευσης που μετρήθηκαν σε σιτηρά (*triticum aestivum*) ήταν εξαιρετικά χαμηλοί γεγονός που υποδηλώνει χαμηλή επικινδυνότητα.

Παρόλα αυτά οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα αγροτικά εδάφη και κυρίως στις λεκάνες εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων ήταν τόσο υψηλές, που για την αξιολόγηση του κινδύνου θεωρήθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί η οδός κατάποσης εδάφους (soil ingestion pathway). Αυτή η παράμετρος, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, ενδείκνυται για κατοίκους

αγροτικών περιοχών. Στην περίπτωση αυτήν, η έκθεση στους τοξικούς παράγοντες γίνεται μέσω της κατάποσης μιας ελάχιστης δόσης σκόνης (της τάξης των 100mg/ημέρα) μέσα από τις γεωργικές εργασίες (όργωμα, θέρισμα κτλ). Είναι ένας δείκτης που αναδεικνύει τη στενή σχέση μεταξύ της υγιεινής και ασφάλειας στην εργασία με την ποιότητα του εγγύτερου φυσικού περιβάλλοντος. Στο παράρτημα II δίνονται τα χαρακτηριστικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για το υπολογισμό της μέσης ημερήσιας δόσης και τις ενδεικτικές τιμές.

Για κάθε στοιχείο ξεχωριστά υπολογίστηκε το πηλίκιο κινδύνου από το λόγο της μέσης ημερήσιας δόσης, δια τη δόση αναφοράς. Η δόση αναφοράς είναι η δόση που μπορεί να λαμβάνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα από ένα άτομο χωρίς να προκαλούνται βλάβες στην υγεία του. Με βάση τα στοιχεία αυτά υπολογίστηκε ο δείκτης κινδύνου για τα εν λόγω στοιχεία, τόσο για τα δείγματα που αφορούν στα γεωργικά εδάφη, όσο και για τις λεκάνες εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων. Η επικινδυνότητα θεωρείται αυξημένη όταν ο δείκτης κινδύνου (δηλαδή το άθροισμα των πηλίκων κινδύνου για κάθε δείγμα ξεχωριστά) είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Σε όλα τα δείγματα που μετρήθηκαν ο δείκτης κινδύνου ήταν χαμηλός, γεγονός που δεν εμπνέει ανησυχία για τη Δημόσια Υγεία εν γένει (με εξαίρεση κάποια μεταλλευτικά συμπυκνώματα).

Παρόλα αυτά, όταν χρησιμοποιήθηκε ο *παράγοντας κλίσης* (slope factor) για το αρσενικό, το μόνο στοιχείο με τεκμηριωμένη ικανότητα καρκινογένεσης, προέκυψαν κάποια ενδιαφέροντα δεδομένα. Ο κίνδυνος καρκινογένεσης υπολογίζεται από το γινόμενο της μέσης ημερήσιας δόσης επί τον παράγοντα κλίσης, που προκύπτει μέσα από ένα τοξικολογικό μοντέλο *δόσης-αποτελέσματος* (dose-response). Ο αποδεκτός κίνδυνος καρκινογένεσης για το αρσενικό είναι  $1 \times 10^{-5}$ . Στις αναλύσεις που έγιναν στο χώρο του μεταλλείου (και συγκεκριμένα στις λεκάνες εναπόθεσης των μεταλλευτικών αποβλήτων) ο κίνδυνος καρκινογένεσης για το αρσενικό ήταν περίπου 5-20 φορές μεγαλύτερος από το αποδεκτό, ενώ η επικινδυνότητα για τις γεωργικές καλλιέργειες ήταν χαμηλή.

Ακόμα και όταν υποβλήθηκαν τα δεδομένα αυτά σε μια πιο μετριοπαθή προσέγγιση, όπου δεν χρησιμοποιήθηκε το σύνολο της συγκέντρωσης του στοιχείου αλλά μόνο το βιοδιαθέσιμο κλάσμα, δηλαδή αυτό που είναι εύκολα προσβάσιμο μέσω της διαδικασίας της πέψης, ο κίνδυνος καρκινογένεσης από το αρσενικό παρέμεινε υψηλός: 1-5 φορές μεγαλύτερος από το αποδεκτό (data not shown). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι οι εγκαταστάσεις του μεταλλείου εμπεριέχουν

δυσνητικούς κινδύνους για τη Δημόσια Υγεία. Ο δείκτης κινδύνου για ορισμένα υλικά που έχουν εγκαταλειφτεί στο χώρο του μεταλλείου, όπως κάποια συμπυκνώματα μεταλλεύματος ήταν υψηλός (τόσο στην πληρότητα των αναλύσεων, όσο και μετά την ανάλυση βιοδιαθεσιμότητας).

Με δεδομένα τα στοιχεία αυτά μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η απασχόληση με επαγγελματικούς όρους στους χώρους του μεταλλείου εμπεριέχει μια υψηλή επικινδυνότητα. Οι εργασίες αποκατάστασης θα πρέπει να λάβουν υπόψη τους τα δεδομένα αυτά έτσι ώστε να ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα υγιεινής και ασφάλειας.

Για να καταστεί ασφαλές το περιβάλλον γύρω από το παλιό μεταλλείο, η πολιτεία θα πρέπει να προβεί άμεσα σε αποκατάσταση της περιοχής. Το *Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών* (ΙΓΜΕ) ανέλαβε από το 2005 ένα επιδοτούμενο έργο καταγραφής της ρύπανσης και πιλοτικής εφαρμογής τεχνικών απορρύπανσης, προϋπολογισμού 1.971.901€. Στους σκοπούς του προγράμματος αυτού συμπεριλαμβάνεται η πιλοτική εφαρμογή μεθόδων εκτίμησης του περιβαλλοντικού κινδύνου, η μοντελοποίηση της ρύπανσης καθώς και η διερεύνηση οικονομικά εφικτών τρόπων απορρύπανσης.

Το *Εργαστήριο Υγιεινής και Προστασίας Περιβάλλοντος* του *Τμήματος Ιατρικής ΔΠΘ* έχει προτείνει τη δημιουργία θεματικού πάρκου στην περιοχή της Κίρκης. Το οποίο θα περιλαμβάνει:

1. Δημιουργία Κέντρου Υποδοχής με σκοπό την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση.
2. Τουριστική αξιοποίηση της περιοχής (εναλλακτικός περιβαλλοντικός τουρισμός, αγροτουρισμός).
3. Εκπαιδευτικό Κέντρο Αγωγής και Προαγωγής Υγείας πάνω σε θέματα Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας.

## Βιβλιογραφία

Arikas, K., Watzl, V. and Goetz, D. “Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από τα Μεταλλεία Κίρκης”. Ινστιτούτο Ορυκτογραφίας-Πετρογραφίας Αμβούργου, Οκτώβριος 2001.

Bowen, H.J.M. *Environmental Chemistry of the Elements*, Academic Press, New York (1979).

Del Rio, M. *et al.* Heavy metals and arsenic uptake by wild vegetation in the Guadamar river area after the toxic spill of the Aznalcollar mine. *J. Biotechnol.* **98**, 125-137 (2002).

EPA (Environmental Protection Agency, USA). *Exposure Factors Handbook* (EPA/600/P-95/002Fa). Update to Exposure Factors Handbook (EPA/600/8-89/043), Environmental Protection Agency Region I, Washington, D.C., USA (1997).

Jung, M. C. Contamination by Cd, Cu, Pb, and Zn in mine wastes from abandoned metal mines classified as mineralization types in Korea. *Environ. Geochem. Health* (2007).

Θ.Κ. Κωνσταντινίδης, Τύρφη Φιλίππων, Λιγνίτες Μαυρολεύκης: Υγειονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση τους για ηλεκτροπαραγωγή. Δελτίο Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας - Τμήμα Ανατολικής Μακεδονίας., **1** (6): 104-108 (1990).

Kim, J. Y., Kim, K. W., Ahn, J. S., Ko, I. and Lee, C. H. Investigation and risk assessment modeling of As and other heavy metals contamination around five abandoned metal mines in Korea. *Environ. Geochem. Health* **27**, 193-203 (2005).

Lee, J. S., Chon, H. T. and Kim, K. W. Human risk assessment of As, Cd, Cu and Zn in the abandoned metal mine site. *Environ. Geochem. Health* **27**, 185-191 (2005).

Lee, M. *et al.* Soil washing of As-contaminated stream sediments in the vicinity of an abandoned mine in Korea. *Environ. Geochem. Health* **29**, 319-329 (2007).

Li, J., Xie, Z. M., Xu, J. M. and Sun, Y. F. Risk assessment for safety of soils and vegetables around a lead/zinc mine. *Environ. Geochem. Health* **28**, 37-44 (2006).

Liu, H., Probst, A. and Liao, B. Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/zinc mine spill (Hunan, China). *Sci. Total Environ.* **339**, 153-166 (2005).

Lopez Alonso, M. *et al.* Mercury concentrations in cattle from NW Spain. *Sci. Total Environ.* **302**, 93-100 (2003).

Loredo, J., Ordonez, A. and Alvarez, R. Environmental impact of toxic metals and metalloids from the Munon Cimero mercury-mining area (Asturias, Spain). *J. Hazard. Mater.* **136**, 455-467 (2006).

Madejon, P., Murillo, J. M., Maranon, T., Cabrera, F. and Lopez, R. Bioaccumulation of As, Cd, Cu, Fe and Pb in wild grasses affected by the Aznalcollar mine spill (SW Spain). *Sci. Total Environ.* **290**, 105-120 (2002).

Maramba, N. P. *et al.* Environmental and human exposure assessment monitoring of communities near an abandoned mercury mine in the Philippines: A toxic legacy. *J. Environ. Manage.* **81**, 135-145 (2006).

Mayan, O. N., Gomes, M. J., Henriques, A., Silva, S. and Begonha, A. Health survey among people living near an abandoned mine. A case study: Jales mine, Portugal. *Environ. Monit. Assess.* **123**, 31-40 (2006).

Miller, J. R., Hudson-Edwards, K. A., Lechler, P. J., Preston, D. and Macklin, M. G. Heavy metal contamination of water, soil and produce within riverine communities of the Rio Pilcomayo basin, Bolivia. *Sci. Total Environ.* **320**, 189-209 (2004).

Olias, M., Ceron, J. C., Fernandez, I. and De la Rosa, J. Distribution of rare earth elements in an alluvial aquifer affected by acid mine drainage: the Guadamar aquifer (SW Spain). *Environ. Pollut.* **135**, 53-64 (2005).

Pereira, R., Ribeiro, R. and Goncalves, F. Scalp hair analysis as a tool in assessing human exposure to heavy metals (S. Domingos mine, Portugal). *Sci. Total Environ.* **327**, 81-92 (2004).

Simmons, R. W., Pongsakul, P., Saiyasitpanich, D. and Klinphoklap, S. Elevated levels of cadmium and zinc in paddy soils and elevated levels of cadmium in rice grain downstream of a zinc mineralized area in Thailand: implications for public health. *Environ. Geochem. Health* **27**, 501-511 (2005).

Yang, Q. W., Shu, W. S., Qiu, J. W., Wang, H. B. and Lan, C. Y. Lead in paddy soils and rice plants and its potential health risk around Lechang lead/zinc mine, Guangdong, China. *Environ. Int.* **30**, 883-889 (2004).

## Βάσεις δεδομένων

IRIS (Integrated Risk Information System), <http://www.epa.gov/iris>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΔΕΙΓΜΑ	Mn	Zn	Fe	Cu	Pb	Cd	As	Hg
Υπέδαφος #1	263.9	4,290	1,650	156	3,125	32.9	87.5	27.8
Υπέδαφος #2	231.48	2,536	26,767	604.81	12,500	15.67	248.2	79.62
Υπέδαφος #3	493.83	2,609	22,000	170.45	4,375	21.56	76.6	64.81
Συμπύκνωμα	34,600	336,022	43,000	2,436	75,472	3,173	7,400	δ.π.
Τέλματα	7,354	22,849	δ.π.	δ.π.	7,966	176.92	360.5	δ.π.
ΐζημα #1	2,469	1,750	4,222	84.6	300	16.4	22.6	703.7
ΐζημα #2	5,180	3,986	25,517	130.67	279.92	34.72	24.56	1.67
ΐζημα #3	4,054	3,918	22,758	58.67	110.42	26.85	18.23	5.27
ΐζημα #4	901	178.7	27,586	26.67	45.83	2.59	8.35	1.07
Χωράφι #1	1,126	474.23	33,103	42.67	218.75	5.83	14.1	1.22
Χωράφι #2	450.45	47.42	20,690	14.93	31.25	0.93	5.43	1.13
Χωράφι #3	878.38	103.1	36,551	42.4	41.67	1.39	6.32	0.99

Υπολογισμός δείκτη ρύπανσης (pollution index,  $P_i$ )

$$P_i = C_i / S_i$$

$C_i$ : συγκέντρωση στοιχείου στο δείγμα

$S_i$ : μέση συγκέντρωση στοιχείου κατά Bowen *et al.* (1979)

	Zn	Cu	Pb	Cd	As
Bowen 1979	90	30	35	0.35	6
$P_i$	Zn	Cu	Pb	Cd	As
Υπέδαφος #1	47.7	5.2	89	94	14.6
Υπέδαφος #2	28.2	20.2	357	44.8	41.4
Υπέδαφος #3	29	5.68	125	61.6	12.8
Συμπύκνωμα	3733.6	81.2	2156.3	9065.7	1233.3
Τέλματα	253.87	-	227.6	505.49	60
ΐζημα	19.4	2.8	8.6	46.9	3.8
ΐζημα #1	44.3	4.4	8.0	99.2	4.1
ΐζημα #2	43.5	2.0	3.15	76.7	3.0
ΐζημα #4	2.0	0.9	1.3	7.4	1.4
Χωράφι #1	5.3	1.4	6.25	16.7	2.4
Χωράφι #2	0.5	0.5	0.9	2.7	0.9
Χωράφι #3	1.1	1.4	1.2	4.0	1.1

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

**Ανάλυση επιφανειακού νερού ποταμού Ειρήνης-Κιρκάλειου  
ρέματος**

**Φεβρουάριος 2007**

ΔΕΙΓΜΑ	Mn	Zn	Fe	Cu	Pb	Cd	As
1	13	33	80	25	3.5	<0.1	μ.α.
2	1478	1897	153	42	3.5	13.8	μ.α.
3	1262	1180	192	40	2.1	6.5	μ.α.
4	1132	907	184	53	2.5	3.8	μ.α.
5	25	44	80	53	3.0	<0.1	μ.α.

**Ιούλιος 2007**

ΔΕΙΓΜΑ	Mn	Zn	Fe	Cu	Pb	Cd	As
1	δ.π.	δ.π.	δ.π.	δ.π.	<2	0.1	μ.α.
2	530	552	δ.π.	<50	2.5	55	μ.α.
3	270	1078	δ.π.	<50	<2	5.8	μ.α.
4	δ.π.	δ.π.	δ.π.	δ.π.	<2	12.3	μ.α.

**Νοέμβριος 2007**

ΔΕΙΓΜΑ	Mn	Zn	Fe	Cu	Pb	Cd	As
1	1750	1947	<200	δ.π.	3.2	3.2	μ.α.
2	2000	3157	<200	<50	2.9	3.9	μ.α.
3	1608	1263	<200	23	<2	11.6	μ.α.
4	1500	1500	<200	31	<2	9.7	μ.α.

**Μάρτιος 2008**

ΔΕΙΓΜΑ	Mn	Zn	Fe	Cu	Pb	Cd	As
1	560	178	δ.π.	δ.π.	<2	<0.1	μ.α.
2	852	670	δ.π.	δ.π.	2.3	14.3	μ.α.
3	1001	1769	δ.π.	δ.π.	2.4	5.9	μ.α.
4	1208	1962	δ.π.	δ.π.	<2	6.4	μ.α.
5	369	956	δ.π.	δ.π.	<2	<0.1	μ.α.

δ.π. = δεν πραγματοποιήθηκε, μ.α. = μη ανιχνεύσιμο

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II**

Υπολογισμός μέσης ημερήσιας δόσης (average daily dose).

ADD = Average Daily Dose (μέση ημερήσια δόση)

$$ADD = \frac{C \times IR \times ED \times EF}{BW \times AT \times 365}$$

C = concentration (συγκέντρωση, σε mg/kg ή μg/L)

IR = ingestion rate (ρυθμός κατάποσης σε kg/ημέρα)

ED = exposure duration (διάρκεια έκθεσης, σε χρόνια)

EF = exposure frequency (συχνότητα έκθεσης, ημέρες/χρόνο)

BW = body weight (βάρος σώματος σε kg)

AT = averaging time (μέση περίοδος έκθεσης, σε χρόνια)

Για τον υπολογισμό τον παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τιμές:

- για το ρυθμό κατάποσης τα  $100 \times 10^{-6}$  kg/ημέρα (EPA, 1997).
- για τη διάρκειας έκθεσης τα 30 έτη (EPA, 1997).
- για τη συχνότητα έκθεσης μέσω της οδού κατάποσης του εδάφους: 210 ημέρες/έτος (EPA, 1997).
- ως μέσο βάρος ενός ενήλικα (ανεξαρτήτως φύλλου) χρησιμοποιήθηκε το σωματικό βάρος των 70 kg.
- για τα μη καρκινογόνα στοιχεία η μέση περίοδος έκθεσης υπολογίστηκε στα 30 χρόνια και για τα καρκινογόνα τα 78 χρόνια.